

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE ACCIONES INTEGRALES PARA LA MITIGACIÓN  
DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL RECURSO HÍDRICO EN LA FINCA LOS POMOS  
DE SAN ROQUE - ANTIOQUIA

JOSÉ OTONIEL OSORIO BARRERA



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE-  
ECAPMA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

MEDELLÍN – 2017

DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS DE ACCIONES INTEGRALES PARA LA MITIGACIÓN  
DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL RECURSO HÍDRICO EN LA FINCA LOS POMOS  
DE SAN ROQUE - ANTIOQUIA

JOSÉ OTONIEL OSORIO BARRERA

Trabajo de grado para obtener el título de  
TECNÓLOGO EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

Asesor:

Yesid Alexander Sánchez Acosta

Ingeniero Biológico, M.S.c. Biotecnología



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE

ECAPMA

PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN SANEAMIENTO AMBIENTAL

MEDELLÍN – 2017

**NOTA ACLARATORIA**

**La escuela y los jurados no se hacen responsables**

**por los conceptos emitidos por el autor.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

**Director del trabajo**

---

**Firma del jurado**

**Medellín, Antioquia Octubre de 2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial con esfuerzo dedicación y sacrificio. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más, a mi esposa y a mis hijos por la paciencia durante mi proceso de formación y por el acompañamiento recibido. A todos compañeros y amigos mil gracias, Dios los bendiga.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a: A mi familia por su apoyo moral y el interés permanente por las labores realizadas y a las personas de una u otra forma me apoyaron en el desarrollo del presente trabajo. Al Ingeniero Yesid Alexander Sánchez, asesor del trabajo de grado.

A los docentes y directivos de la UNAD, quienes nos guiaron y orientaron, durante este recorrido académico.

**TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN	17
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVO GENERAL	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
4. CAPÍTULO I. BIODIGESTOR	25
4.1 Resumen	25
4.2 Introducción	25
5. MARCO TEÓRICO	28
5.1 Antecedentes	28
5.2 Contaminación e implicaciones ambientales	29
5.3 Normatividad Ambiental Vigente para el manejo de excretas de cerdo	30
5.4 Tecnologías para el tratamiento de excretas de cerdo	33
5.4.1 Incorporación de aditivos	34
5.4.2 Separación sólido-líquido	35
5.4.3 Electrocoagulación	36
5.4.4 Digestión anaerobia	37
5.5 Biodigestor	38
5.5.1 Proceso de la biodigestión anaerobia	38
5.5.2 Clasificación de biodigestores según el flujo de carga	40
5.6 Biodigestores de Carga o flujo continuo	41
5.7 Biodigestores de carga o flujo semi-continuo	41
5.8 Biodigestores de carga o flujo discontinuo (En lote)	41
5.9 Tipo de biodigestores	42

5.9.1	De planta con cúpula o campana flotante	42
5.9.2	De planta con cúpula o campana fija	44
6.	Biodigestor de Balón o tubular (Tipo Taiwanés)	46
6.1	Requerimientos para la elección e instalación de un biodigestor	47
6.2	Relación Carbono Nitrógeno	48
6.3	pH	49
6.4	Biogás	49
6.5	Bioabono	52
7.	METODOLOGÍA	54
7.1	Fase 1-Diagnóstico	54
7.2	Fase 2- Proceso de documentación e investigación	57
7.3	Fase 3- Elaboración de las propuestas	58
7.4	Localización geográfica, generalidades climáticas y topográficas	59
7.5	Análisis Técnico	65
7.6	Tiempo de Retención hidráulica	66
7.7	Determinación Volumen del Biodigestor	67
7.8	Relación Estiércol Agua	68
7.9	Partes del sistema de biodigestión	70
7.9.1	Sistema de conducción.	70
7.9.2	Sistema de entrada (tanque de Mezcla).	70
7.9.3	Tanque biodigestor.	70
7.9.4	Sistema de salida del bioabono.	72
7.9.5	Tanque de almacenamiento del Bioabono.	72
7.9.6	Sistema de salida del biogás.	73
7.9.7	Sistema de conducción del biogás.	73
7.10	Reguladores y trampas:	73
7.10.1	Regulador de presión.	73
7.10.2	Trampas.	74
7.10.3	Trampa de ácido sulfhídrico.	75
7.10.4	Llaves de paso.	76



7.10.5	Sistema para descargue para mantenimiento.	76
7.10.6	Medidor de gas (opcional).	76
7.11	Instalación y Puesta en Marcha del Biodigestor	77
7.12	Mantenimiento	78
7.13	Análisis Económico y financiero	79
7.14	Análisis Social	82
7.15	Análisis ambiental	83
7.16	Recomendaciones	84
7.17	Discusión	84
8	CAPÍTULO II. SISTEMA SÉPTICO	86
8.1	Resumen	86
8.2	Introducción	87
9.	MARCO TEÓRICO	89
9.1	Antecedentes	89
9.2	Contaminación del recurso hídrico por las aguas residuales domésticas (ARD)	90
9.3	Normatividad Ambiental Vigente para el manejo de aguas domésticas	91
9.4	Tecnologías Para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	92
9.5	Pozo o sistema séptico	92
9.5.1	Criterios para la elección de sistema o pozo séptico.	93
9.5.2	Trampa de grasas.	95
9.5.3	Localización.	95
9.5.4	Parámetros de diseño.	96
9.5.5	Operación y mantenimiento.	97
9.5.6	Tanque Séptico.	97
9.5.7	Tipos de Tanques sépticos.	98
9.5.8	Localización.	99
9.5.9	Medidas internas mínimas recomendadas.	99
9.5.10	Número de cámaras.	100
9.5.11	Filtro de grava	100
9.5.12	Volumen útil del medio filtrante.	100

9.5.13	Operación y mantenimiento.	101
10.	METODOLOGÍA	102
10.1	Fase 1-Diagnóstico	102
10.2	Fase 2- Proceso de documentación e investigación	103
10.3	Fase 3. Elaborar Propuesta del Sistema Séptico Integrado	106
10.4	Localización geográfica, generalidades climáticas y topográficas.	106
10.5	Análisis Técnico	107
10.6	Fases de Tratamiento en el Sistema séptico	108
10.6.1	Pre-tratamiento.	109
10.6.2	Tratamiento, tanque séptico integrado.	110
10.6.3	Post-tratamiento, el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).	111
10.6.4	Disposición del agua efluente.	113
10.7	Instalación y puesta en marcha de la trampa de grasas y el sistema séptico Integrado	114
10.7.1	Trampa de grasas.	114
10.7.2	Sistema séptico integrado.	115
10.7.3	Disposición del Efluente (Espina de Pescado).	116
10.8	Mantenimiento	117
10.8.1	Trampa de Grasas.	117
10.8.2	Cámara Séptica	117
10.8.3	Cámara de Filtro Anaerobio De Flujo Ascendente (FAFA)	118
10.8.4	Ventajas de los Sistemas Sépticos Integrados	119
10.8.5	Control de Olores	120
10.9	Análisis Económico y Financiero	120
10.10	Análisis social	122
10.11	Análisis Ambiental	123
10.12	Recomendaciones	124
10.13	Discusión	125
11.	CONCLUSIONES	125
12.	RECOMENDACIONES GENERALES	127

13.	BIBLIOGRAFÍA	128
14.	ANEXOS	133
14.1	Anexo A	133

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de las deyecciones porcinas.....	33
Tabla 2 Comportamiento del caldo de fermentación dentro del biodigestor.....	49
Tabla 3 Composición del Biogás .....	50
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permitidos en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería. ....	55
Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas de las actividades industriales, comerciales o de servicios a cuerpos de aguas superficiales. ....	56
Tabla 6 Comparativo Biodigestor Taiwanés Vs Biodigestor Cúpula Fija.....	57
Tabla 7 Tiempos de retención hidráulica.....	67
Tabla 8 Equivalencias energéticas en Kw y m <sup>3</sup> . ....	79
Tabla 9 Costos de inversión anual en fertilizantes de la Finca Los Pomos .....	80
Tabla 10 Producción de bioabono diario y anual.....	81
Tabla 11 Presupuesto tentativo para la instalación del biodigestor vertical de cúpula fija. ....	81
Tabla 12 Valores de profundidad útil .....	99
Tabla 13 Comparativo sistema séptico Imhoff Vs Sistema Séptico Integrado.....	104
Tabla 14 Dimensiones del biodigestor vertical de cúpula fija.....	113
Tabla 15 Dimensionamiento Trampa de Grasas.....	115
Tabla 16 Presupuesto tentativo para la instalación del sistema séptico integrado.....	121
Tabla 17 Aportes per cápita para aguas residuales domésticas .....	123

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema general de transformación bioquímica durante el proceso de digestión anaerobia .....	40
Figura 2 Biodigestor de planta con cúpula o campana flotante .....	43
Figura 3 Biodigestor de cúpula fija.....	45
Figura 4 Esquema de biodigestor tipo Balón o Taiwanés.....	47
Figura 5 Biodigestor Taiwanés .....	47
Figura 6 Finca Los Pomos, ubicación de las Quebradas San Juan y Floresta, las porquerizas 1 y 2, la vivienda y el afluente Arroyo Bravo.....	59
Figura 7 Nacimiento guayabo abajo .....	61
Figura 8 Quebrada San Juan .....	61
Figura 9 Corrales para cerdos .....	62
Figura 10 Estiércol de cerdo en suelo, transportado por el agua de lavado de las porquerizas....	63
Figura 11 Quebrada La Floresta receptora del estiércol porcino .....	63
Figura 12 Quebrada San Juan donde desemboca La Quebrada La Floresta.....	64
Figura 13 Vertimiento directo de aguas residuales domésticas (ARD) al afluente Arroyo Bravo. ....	65
Figura 14 Esquema biodigestor vertical de cúpula fija A= 306 cm B=164 cm.....	71
Figura 15 Biodigestor vertical de cúpula fija.....	71
Figura 16 Tanque de almacenamiento de bioabono de 1000 L de capacidad .....	72
Figura 17 Regulador de presión.....	74
Figura 18 Trampa de Ácido Sulhídrico .....	75
Figura 19 Esquema estructural para la biodigestión. ....	77
Figura 20 Visita a punto de venta, proveedora de dispositivos para el almacenamiento y tratamiento de agua potable y residual.....	106
Figura 21 Trampa de grasas en polietileno lineal color negro.....	110
Figura 22 Sistema séptico integrado .....	112
Figura 23 Vista lateral y frontal del sistema séptico.....	112
Figura 24 Rosetón .....	113
Figura 25 Campo de infiltración espina de pescado. ....	114
Figura 26 Dimensiones trampa de grasas .....	115

**LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1 Encuesta a los propietarios de la finca Los Pomos .....	134
---	-----

## Resumen

En la finca Los Pomos, ubicada en el municipio de San Roque (Antioquia), se evidencia un deterioro ambiental hace 5 años aproximadamente, debido al vertimiento de aguas residuales pecuarias y de aguas residuales domesticas en los cuerpos de agua superficial que atraviesan la finca. Con el propósito de disminuir el impacto ambiental causado por el mal manejo de aguas residuales, en este trabajo se presenta una propuesta para la instalación, operación y mantenimiento de un biodigestor para el manejo de excretas porcinas y de un pozo séptico para la disposición de aguas residuales domesticas en la finca.

Para lo anterior, se utiliza una metodología de investigación descriptiva donde se reúne información por medio de observación, entrevista y registros fotográficos de campo, con el objeto de proponer mejoras a las actividades productivas y domésticas de la finca, disminuyendo al mismo tiempo los principales impactos ambientales en el recurso hídrico y cumpliendo con la normatividad ambiental vigente para el recurso hídrico en especial.

En este sentido y teniendo en cuenta parámetros topográficos, climáticos, económicos, de operación y de mantenimiento de los dispositivos, se investiga sobre el tipo de biodigestor y de sistema séptico más eficaz y apropiado para la Finca Los Pomos.

**Palabras claves:** Aguas residuales, bioabono, biogás, biodigestor y sistema séptico.

## Abstract

In the farm Los Pomos, located in the municipality of San Roque (Antioquia), an environmental deterioration is evident 5 years ago, due to the dumping of wastewater and domestic wastewater in the bodies of surface water that cross the farm. In order to reduce the environmental impact caused by poor wastewater management, this paper presents a proposal for the installation, operation and maintenance of a biodigester for the management of porcine excreta and a septic tank for water disposal Domestic residues on the farm.

For the above, a descriptive research methodology is used where information is gathered through observation, interview and field photographic records, with the purpose of proposing improvements to the productive and domestic activities of the farm, while reducing the main impacts Environmental in the water resource and complying with the current environmental regulations for water resources especially.

In this sense, and taking into account topographical, climatic, economic, operating and maintenance parameters of the devices, the most effective and appropriate type of biodigester and septic system is investigated for farm Los Pomos.

**Key words:** Waste water, bio-fuel, biogas, biodigester and septic system.



## INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la población humana y la alta tasa de migración a las ciudades, obliga al mercado a enfrentar el reto de incrementar la producción para satisfacer la creciente demanda alimenticia; el sector porcino desempeña con responsabilidad este reto ya que sumado a lo anterior también debe enfrentar una cultura creciente en la ingesta de carne de cerdo mayor a la de otras proteínas. Según una edición de la revista El Espectador del año 2016, se tuvo un aumento de consumo per cápita en Colombia de la carne de cerdo de 4 Kg a 8 Kg en los últimos 6 años, así mismo, la proyección a cinco años de la Asociación Colombiana de Porcicultores es superar el tercer puesto en consumo que tienen, después de la carne de pollo y de res (El Espectador, 2016).

Dado lo anterior se debe considerar el impacto ambiental negativo en el agua, el suelo y la atmósfera que pueden generar algunas de las 130.000 familias colombianas que viven de la producción pecuaria porcina y no cuentan con las instalaciones adecuadas para el manejo de excretas porcina (Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de La Porcicultura, 2014).

La finca Los Pomos no es ajena a esta problemática ya que cuenta con más de 15 fuentes de agua limpia, entre nacimientos, arroyos y quebradas, que la atraviesan dando una riqueza natural hídrica a la misma, pero que son contaminadas por el vertimiento directo de estiércol de cerdo y de aguas residuales domésticas en la quebrada La Floresta y en el afluente Arroyo Bravo, respectivamente.

Con el objetivo de reducir la contaminación de las fuentes de aguas causada por la producción pecuaria, el vertimiento de aguas domésticas y disminuir el uso de leña y otras fuentes de energía, se propone la instalación de un biodigestor vertical de cúpula fija y un sistema séptico integrado para el tratamiento de las excretas de cerdo y de las aguas residuales domésticas producidas en la finca Los Pomos, teniendo en cuenta claro está, las condiciones climáticas y topográficas del lugar y de esta forma contribuir intelectual, económica y eficientemente; en la disminución del impacto ambiental en el recurso hídrico, suelo y atmósfera.

En los últimos años se han evaluado tratamientos de vertimientos cafeteros mediante un biodigestor tubular de polietileno, con cajas de concreto, con un volumen de  $20 \text{ m}^3$ , en la finca El Cañón – Vereda San Martín, municipio El Águila – Valle del Cauca; este biodigestor fue inoculado con yogurt, levadura, miel de purga y agua (Morales & Mejía, 2015). Así mismo Jaimovich, Acevedo, Badell, Cerdá, Hardoy & Vallarino, 2015, evaluaron un tratamiento de residuos cloacales con biodigestores, en las zonas residenciales del municipio de Pilar, Argentina, con el fin de mejorar el tratamiento de los desechos cloacales y, a su vez, producir biogás.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento de aguas en Colombia se ha convertido en uno de los problemas ambientales más críticos y crecientes. La descarga de aguas residuales domésticas y los vertimientos agropecuarios están contaminando los ríos, las aguas subterráneas, los humedales y las represas de agua, causando un grave daño al medio ambiente y a la salud humana. Los vertimientos generados por el sector agrícola colombiano son los más contaminantes. A este tipo de descargas les siguen las realizadas por grandes ciudades, seguidas por las del sector industrial, sobre todo por los productores de alimentos (Martín, 2014).

Así mismo, la Asociación Colombiana de Porcicultores en los últimos años ha registrado un aumento sustentable del consumo de carne de cerdo en Colombia, y se proyecta para el 2022 como el tipo de carne más consumida por los Colombianos (Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de La Porcicultura, 2014), es por ello que los propietarios de la finca Los Pomos, buscan fortalecer la crianza y engorde de cerdos pasando de 15 unidades a 30 unidades de cerdo de engorde por mes, sin embargo el manejo actual que se le proporciona al estiércol no es el óptimo y éste termina en los cuerpos de agua superficial, más exactamente en la Quebrada La Floresta, a tan solo 15 metros del punto de vertimiento del estiércol, ésta quebrada desemboca a la Quebrada San Juan, la cual es muy visitada por turistas para el disfrute de sus aguas y la pesca deportiva.

La actividad agropecuaria y el manejo adecuado de residuos rurales pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en

distintas formas de energía. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual, está constituido principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible y/o electricidad. De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola (bioabonos) y al mismo tiempo, producir energía gaseosa (biogás) (Varnero, 2011).

## 2. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales retos en el siglo XXI es desarrollar estrategias enmarcadas bajo lineamientos de sostenibilidad ambiental, económica y sociocultural para las diversas actividades de origen antrópico (García, Corredor, Calderón, & Gómez 2013). Si bien, en el campo rural colombiano, el manejo de las aguas residuales domésticas y pecuarias presenta dificultades y deficiencias técnicas, económicas y culturales que comprometen la calidad de los recursos naturales renovables y no renovables, también es claro, que el mercado actual demanda grandes cantidades de carne de cerdo y es por esto, cada día se debe adquirir un mayor compromiso para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de las actividades pecuarias porcinas (García et al., 2013).

Es por ello que con el siguiente trabajo se evaluarán los procesos de producción porcina y el manejo de las aguas residuales domesticas de La Finca Los Pomos, mediante técnicas de observación, entrevista y registro fotográfico, los cuales permitirán determinar los factores de mayor impacto hídrico en la finca y posteriormente diseñar una propuesta para un mejor manejo de las aguas residuales generadas por estas actividades; además de mitigar el impacto ambiental que generan estos vertimientos; cuyo lineamiento en relación con la conservación, protección y aprovechamiento del agua, es no incorporar en las aguas, cuerpos o sustancias sólidas, líquidas o gaseosa, tales como basuras, desechos, desperdicios o cualquier sustancia tóxica, aspecto contemplado en el decreto 1449 de junio de 1977, establecido por el ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, lo cual obliga a los propietarios de las fincas a la continua

gestión por el cuidado del recurso hídrico (Minambiente, 1977), sin embargo más allá de dar cumplimiento a un acto normativo, también es importante considerar una imagen y una estrategia de conciencia ambiental, que estaría bajo los principios de producción más limpia y desarrollo sostenible, de ahí que se contemplen diversos beneficios en diferentes aspectos como:

### **Económicos**

Al tomar el estiércol de cerdo para la producción de biogás, se prevé un impacto directo, en el ahorro de energía ya que se satisface en parte la demanda energética de la vivienda en iluminación ò en la estufa, lo cual disminuirá el indicador de consumo energético registrado en los servicios públicos. Por otro lado, al recuperar el estiércol de cerdo para la producción de bioabono, se reflejará un ahorro económico considerable para el propietario, ya que no tendrá que invertir mayormente en abonos para el pasto de su ganado vacuno, además de obtener mayor porcentaje de biomasa en su producción.

Otro aspecto a considerar es que ante la autoridad ambiental CORNARE, estará exento de posibles multas o sanciones y si más bien, será una finca modelo en el aprovechamiento y cuidado del recurso hídrico.

### **Ambientales**

Uno de los factores ambientales más importantes de la indigestión es que disminuye el potencial contaminante del excremento porcino, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno  $DBO_5$  hasta en un 90% (Acosta, Agudelo, Cuartas, Muñoz, & Salgado, 2014), por otro lado, se evita emitir gases de efecto invernadero a la

atmósfera y la generación de olores ofensivos, de igual forma se evita la percolación del excremento a pozos de agua subterránea así como la eutrofización de los cuerpos de agua superficial, por el vertimiento de contaminantes con altas cantidades de nitrógeno y fosforo, aportando a la conservación de los ecosistemas acuáticos de la región.

### **Sociales**

Se establece una imagen positiva a la comunidad vecina de responsabilidad social y ambiental por parte de los propietarios de la finca, al cuidar las fuentes de agua presentes en el lugar, en este sentido promueve la instalación de nuevas tecnologías eficientes como son pozos sépticos y biodigestores en la comunidad de la vereda Santa Rosita.

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir, que, con los resultados proyectados de este trabajo, se generan diversos impactos positivos ambientales, económicos y sociales; los cuales justifican la implementación de los mismos, además de ser una iniciativa que va acorde con los estamentos de sostenibilidad del uso adecuado de los recursos naturales en especial del agua.

### **Académicos**

Provee los conocimientos que produce un trabajo como este, abriendo puertas para que se continúen desarrollando este tipo de proyectos. Este trabajo alimenta la biblioteca de la universidad, convirtiéndose en una herramienta de consulta para futuros trabajos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una propuesta para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y pecuarias de la finca Los Pomos, en el municipio de San Roque (Antioquia).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación ambiental de los vertimientos de la finca Los Pomos.
- Diseñar una propuesta de instalación, operación y mantenimiento de un biodigestor para el manejo e intervención de las aguas residuales pecuarias en la finca Los Pomos.
- Diseñar una propuesta de instalación, operación y mantenimiento de un sistema séptico para los vertimientos pecuarios y domésticos de la finca Los Pomos.



## **4. CAPÍTULO I. BIODIGESTOR**

### **4.1 RESUMEN**

En el presente capítulo se describe el deterioro ambiental en agua, suelo y aire causada por el vertimiento directo de estiércol de cerdo como producto de la actividad porcina, así como las posibles tecnologías que se pueden implementar para tratar el estiércol de cerdo que no solo contribuyen en el cuidado y protección del medio ambiente, sino que también puede generar productos como el bioabono y el biogás representando un aporte económico para el ganadero o propietario del predio. De igual forma se citan diferentes leyes establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial y el Ministerio de Desarrollo Económico para el manejo y control de vertimientos de residuos pecuarios en los cuerpos de agua superficial.

Por último, se explica la metodología de investigación y los análisis técnicos, financieros, sociales y ambientales de la propuesta seleccionada, para el tratamiento de estiércol de cerdo en la finca Los Pomos.

### **4.2 INTRODUCCIÓN**

Cuando el estiércol de cerdo, es vertido directamente en el suelo este viene sobrecargado de nutrientes que exceden el porcentaje de captación de nutriente por las plantas, en zonas de

potreros, los pastos pueden alcanzar altos niveles de nitratos y nitritos que pueden ser tóxicos en el ganado que lo consume, mientras tanto el agua superficial es deteriorada por el fósforo producto del escurrimiento del agua y las agua subterránea por el niveles altos nitrógeno del agua escurrida, infiltrada o percolada en zonas de pastoreo; en el aire son emitidos olores ofensivos y gases producto de la digestión anaerobia, el metano es uno de los gases más potentes en el efecto invernadero y el estiércol contribuye en un 16% en las emisiones globales (Pinos, García, Peña, Rendón, González, & Tristán, 2012).

Es necesario realizar una correcta gestión y tratamiento del estiércol de cerdo para evitar el impacto negativo sobre el suelo, el aire y los recursos hídricos; cuanto más sabiendo que es una actividad de crecimiento en Colombia ya que muchas personas están prefiriendo el consumo de carne de cerdo ante otras carnes como la de pollo y la vaca, aumentando así mismo el número de cerdos en producción (Pinos et al., 2012).

En el mercado existe diversidad de tecnologías para el manejo de excretas en las explotaciones porcinas. Para tener una efectiva elección de la o las tecnologías a implementar, se debe tener en cuenta, no solo las características particulares de la finca, sino también los recursos económicos y técnicos con que se puede contar y procurar buscar cumplir la normatividad ambiental vigente al respecto (Mariscal, 2007).

Dado lo anterior el objetivo de este capítulo, es reconocer y entender los tipos de tecnologías en el tratamiento del estiércol porcino así mismo como su instalación, mantenimiento y operación y lograr determinar la tecnología que mejor se adapte en este caso a las condiciones económicas, de terreno y del ambiente en la finca Los Pomos, logrando así obtener un modelo de

eco sostenibilidad productivo y efectivo con grandes beneficios para los propietarios de la finca y para la comunidad de la vereda La Santa Rosita y del municipio en general.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 ANTECEDENTES

Ni, Naveau & Nyns en el 1993 analizaron la explotación del biogás en América Latina. Los países en desarrollo, han aplicado la tecnología de biogás más ampliamente. Cuatro sectores han utilizado con éxito biogás. En el sector agrícola, identificaron 9440 digestores, en el sector industrial, 25 tipos de desechos han sido investigados para la producción de biogás o ya están en plena aplicación. América Latina es ahora el principal usuario mundial de tecnología de biogás en el tratamiento municipal de aguas residuales sin tratar. Treinta y tres proyectos de I + D han sido reportados. Desde 1977, se han implementado cinco proyectos de explotación de biogás en rellenos sanitarios. Esto convierte a América Latina en el principal usuario de tecnología de biogás en los países en desarrollo. Se están desarrollando y utilizando cada vez más procesos de fermentación de biogás de alta velocidad. Se han aplicado varias técnicas de tratamiento de biogás. La cantidad de biogás producida en América Latina se estima en 217 millones de m<sup>3</sup> por año.

Godfrey 2008, estudió las oportunidades y limitaciones del uso del biogás en el distrito de Rungwe, en el soroeste de Tanzania. Los hogares entrevistados generalmente gastaban un promedio de TSh 20,656.50 por mes o TShs. 247,876.8 por año para energía. La demanda de biogás (90%) entre los encuestados era alta y la política energética, así como la comunidad de

donantes, favorecían la promoción de tecnologías energéticamente eficientes como el biogás, descubrió que las restricciones encontradas en el establecimiento de plantas de biogás incluían la falta de capacidad (75%) y la escasez de agua, la experiencia inadecuada en la que algunas de las plantas de biogás han sido mal construidas y conducen a un rendimiento ineficaz. El objetivo era alentar al biogás comunal a reducir el costo por unidad y el gobierno a emprender la mejora de los servicios de agua.

Morales & Mejía 2015, evaluado un tratamiento para vertimientos cafeteros mediante un biodigestor tubular de polietileno, con cajas de concreto, con un volumen de 20 m<sup>3</sup>, en la finca El Cañón – Vereda San Martín, municipio El Águila – Valle del Cauca; este biodigestor fue inoculado con yogurt, levadura, miel de purga y agua. Mediante este tratamiento obtuvieron los siguientes resultados: 60,44% en términos de DQO, 95,14% en términos de SST y 38,56% en términos de la DBO<sub>5</sub> y el pH se mantiene en 4 unidades.

Jaimovich, Acevedo, Badell, Cerdá, Hardoy & Vallarino 2015, evaluaron un tratamiento de residuos cloacales con biodigestores, en las zonas residenciales del municipio de Pilar, Argentina, con el fin de mejorar el tratamiento de los desechos cloacales, producir biogás y utilizar el digestato como fertilizante.

## **5.2 CONTAMINACIÓN E IMPLICACIONES AMBIENTALES**

Tanto el agua superficial como subterránea pueden ser afectadas por el estiércol de cerdo, en la medida que este no tiene ningún tratamiento para su destino final, quedando a merced de las corrientes de agua que lo distribuyen según el flujo de este (Pinos, et al., 2012).

El estiércol de cerdo posee abundante nitrógeno y está relacionado con la contaminación de aguas subterráneas por lixiviación de nitrato a través del suelo, mientras que el fósforo del estiércol, está relacionado con la contaminación de aguas superficiales, teniendo un impacto trascendental en el recurso hídrico, ya que vertido directamente en las corrientes o aplicado en dosis excesivas en el suelo, estimula el proceso de eutrofización, el cual aumenta las plantas acuáticas, disminuye el oxígeno disuelto (OD) y desestabiliza el pH, afectando la calidad del agua; es importante resaltar que el estiércol de cerdo también puede llevar algunas trazas de metal y coliformes que depende del tipo de alimentación de los cerdos (Pinos et al., 2012).

### **5.3 NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE PARA EL MANEJO DE EXCRETAS DE CERDO**

La reglamentación nacional de Colombia no contempla directamente una ley sobre la regulación y el manejo de excretas porcinas, pero si mediante la ley 2811 de 1974, por la cual se dicta el código nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, que establece el control y la prevención de la contaminación del agua, incluyendo las actividades rurales y la eliminación de estiércol, se exponen los siguientes artículos relacionados (Minambiente, 2014):

*Art 138.* - Se fijarán zonas en que quede prohibido descargar, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasen los niveles admisibles, aguas negras o residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas, superficiales o subterráneas, interiores o marinas.

*Artículo 134.* Corresponde al Estado “**garantizar la calidad del agua para consumo humano**”, y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario. Para dichos fines deberá:

- Ejercer control sobre personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, para que cumplan las condiciones de recolección, abastecimiento, conducción y calidad de las aguas.
- Fijar requisitos para los sistemas de eliminación de excretas y aguas servidas;
- Determinar, previo análisis físico, químico y biológico, los casos en que debe prohibirse, condicionarse o permitirse el vertimiento. También queda prohibida la incorporación a esas aguas, en dichas cantidades y concentraciones, de otros materiales como basuras, desechos, excretas sustancias tóxicas o radiactivas, gases, productos agroquímicos, detergentes u otros semejantes de residuos, basuras, desechos y desperdicios en una fuente receptora.
- Controlar la calidad del agua, mediante análisis periódicos, para que se mantenga apta para los fines a que está destinada, de acuerdo con su clasificación.
- Determinar los casos en los cuales será permitida la utilización de aguas negras y prohibir o señalar las condiciones para el uso de éstas.
- Someter a control las aguas que se conviertan en focos de contaminación y determinar las actividades que quedan prohibidas, con especificación de área y de tiempo, así como de las medidas para la recuperación de la fuente.

En este mismo sentido, el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, mediante la resolución 0631 del 17 de Marzo del 2015 establece en el capítulo VI, los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de agua residual no doméstica, a cuerpos de agua superficiales; especifica los valores máximos permisibles para la producción de porcinos de cría y beneficio (Minambiente, 2015).

Por otro lado, el ICA ha establecido la Resolución N° 002640 del 2007 por la cual se reglamenta “Las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano” (ICA, 2007).

A nivel mundial, los tratados y regulaciones para el manejo de estiércol están encausados en disminuir el impacto negativo en el ambiente, las regulaciones de calidad de agua son por lo general propias de cada país. Sin embargo, las regulaciones en materia atmosférica son continentales e incluso mundiales, ello se mostró en la degradación de la capa de ozono por las emisiones de clorofluorocarbonados y el calentamiento global causado por el efecto invernadero, el cual se genera en especial por la emisión de gases de dióxido de carbono.

El 30 de noviembre de 1990 se firma el protocolo de Gotemburgo, por 47 países europeos, EE.UU. y Canadá, con el objeto de disminuir la acidificación, eutrofización y el ozono troposférico a través de la implementación de límites de emisiones de amoníaco, óxido nítrico, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. Los países participantes, se comprometieron a generar y divulgar manuales de buenas prácticas para el almacenamiento y aplicación del estiércol a fin de disminuir las emisiones. A su vez, las partes deberían intercambiar entre sí información de mejoras técnicas en las prácticas agrícolas y ganaderas (Pinos, et al., 2012).



El protocolo de Kioto realizado en Nueva York en 1992, también tiene como objetivo, mitigar el progresivo calentamiento global mediante la disminución de gases de efecto invernadero. El protocolo también establece que para 2005 la reducción de dichos gases resultaría en una emisión similar a la de 1990 (Pinos, et al. 2012).

#### **5.4 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE EXCRETAS DE CERDO**

El estiércol de cerdo puede ser tratado mediante procesos físicos, químicos y/o biológicos, capaces de disminuir la contaminación de suelo, aire y agua; el estiércol se puede convertir en un subproducto muy útil como el biometano utilizado en forma de calor y electricidad, fertilizante orgánico o biosólidos y créditos de carbono (certificaciones en reducción de emisiones), estos subproductos se puede utilizar en el propio predio generando beneficios económicos, como la reducción de los costos operativos o el aumento de ingresos (Mariscal, 2007).

En el mercado nacional la tecnología más comercializada para el tratamiento de estiércol, no solo de cerdo sino también de aves, vacas y caballos, es el biodigestor.

Tabla 1 Síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de las deyecciones porcinas

<b>SÍNTESIS DE OPERACIONES APLICABLES AL TRATAMIENTO DE LAS DEYECCIONES PORCINAS</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>PROCESOS</b>
Tratamientos que actúan sobre las propiedades físicas y químicas	Incorporación de aditivos Separación sólido-líquido Electrocoagulación

---

Tratamientos de estabilización de la materia orgánica	Membranas/ósmosis inversa Compostaje Digestión aerobia autotérmica (ATAD) Ozonización
Tratamiento con producción de energía	Digestión anaerobia Conversión termoquímica (TCC) Producción de H <sub>2</sub> Bioelectricidad (MFC)
Tratamientos que actúan sobre el contenido de nutrientes (N y/o P)	Nitrificación-desnitrificación (NDN) Nitrificación Parcial-anammox Stripping-absorción
Tratamientos que actúan sobre el contenido de H <sub>2</sub> O	Eliminación de fósforo Evaporación/Secado Biosecado

---

Fuente: (Bonmatí & Magri, 2007)

A continuación, se explican algunos de los tratamientos aplicables al manejo de excretas ganaderas:

#### **5.4.1 Incorporación de aditivos**

Existe una gran cantidad de productos químicos o biológicos que se suministran a los residuos orgánicos y aguas residuales con el objetivo de mejorar el bienestar animal, mejorando el ambiente en las instalaciones de cría y engorde cerdos, así como la aplicación agrícola posterior de las deyecciones (Bonmatí & Magri, 2007).

La aplicación de los aditivos puede ser de forma directa en los corrales o en el momento de cargar las excretas para almacenarlas y tratarlas, ya que estos reducen la emisión de gases

contaminantes, transformando parte del nitrógeno amoniacal en orgánico y mejorando la separación de fases (Bonmatí & Magri, 2007).

Es importante saber con precisión la acción de estos compuestos y su eficacia (en muchos casos no contrastada), y el manejo recomendable para que estos sean eficientes (dosis a aplicar, frecuencia, etc.). Señalar que estos compuestos pueden ser efectivos para una cosa, pero perjudiciales para otra y que según las condiciones de trabajo de la granja se pueden obtener rendimientos muy diversos con resultados que no siempre son satisfactorios (Bonmatí & Magri, 2007).

#### **5.4.2 Separación sólido-líquido**

La separación de fases permite dividir las excreciones en dos fracciones distintas:

*Fase sólida (FS)*, con un contenido en sólidos más alto que las excreciones originales.

*Fase líquida (FL)*, fracción acuosa que contiene elementos disueltos y en suspensión.

Aunque desde un punto de vista global, la separación sólido-líquido no supone una modificación en el contenido de componentes del excremento, este proceso permite una redistribución de los componentes, y por lo tanto, una mejora en la capacidad de gestión. Es así como se da la forma para dos líneas de tratamiento, transporte y aplicaciones diferentes para cada una de las fases obtenidas. En este sentido, la FS resultante se estabiliza mediante un proceso de

compostaje o transporte a zonas lejanas, y la FL se podrá tratar o bien aplicar directamente en tierras agrícolas en las inmediaciones de la explotación (Bonmatí & Magri, 2007).

En cuanto a las tecnologías para la separación se pueden clasificar en tres grandes grupos dependiendo del tipo de fuerza que permita el proceso.

- Separación Mecánica por gravedad.
- Separación mecánica por comprensión.
- Separación mecánica por centrifugación.

### **5.4.3 Electrocoagulación**

Es un proceso donde se desestabilizan las sustancias en suspensión, en emulsión o disueltas en un medio acuoso, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del mismo. La corriente eléctrica es la que provoca la desestabilización de los coloides, esta es equivalente a los coagulantes químicos en proceso de coagulación- floculación convencional (Bonmatí & Magri, 2007).

La electrólisis que se desencadena en el seno del líquido, provocada por la corriente eléctrica, afecta a los compuestos oxidables y reducibles, y solubiliza los cationes metálicos ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  ...) procedentes de los llamados “electrodos sacrificio”. La formación de hidróxidos que precipitan, junto con las corrientes de iones y partículas cargadas creadas por el campo eléctrico, aumentan la probabilidad de colisión entre iones y partículas formando agregados fácilmente separables (Bonmatí & Magri, 2007).

#### 5.4.4 Digestión anaerobia

La fermentación microbiológica anaerobia (en ausencia total de oxígeno) de la materia orgánica produce un gas combustible. Este gas contiene una elevada proporción de metano ( $\text{CH}_4$  en concentraciones superiores al 60%), con un poder calorífico inferior del orden de  $5.500 \text{ kcal/m}^3$  y se designa usualmente como biogás (Bonmatí & Magri, 2007).

Con un control sobre el proceso se puede optimizar la descomposición de la materia orgánica y la producción de biogás.

De entre todos los procesos que son susceptibles de ser aplicados sobre las excreciones animales, en especial las de consistencia semilíquida, la digestión anaerobia tiene grandes ventajas, no tan sólo como proceso individual sino como un proceso a incluir en una estrategia global de tratamiento. Las principales ventajas se pueden resumir en:

- Homogeneiza la composición y las partículas en suspensión.
- Elimina los malos olores y los compuestos orgánicos volátiles.
- Reduce el contenido en materia orgánica y mantiene las concentraciones de nutrientes.
- Balance energético positivo, es un proceso productor neto de energía renovable.
- Contribuye a la disminución de la generación de gases de efecto invernadero, si el metano producido sustituye una fuente no renovable de energía.

## 5.5 BIODIGESTOR

Un biodigestor, también conocido como planta (productora o de producción) de biogás, es un recinto o tanque cerrado donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono rico en nitrógeno, fósforo y potasio en cantidades apropiadas para la fertilización. Son máquinas simples cuyo principio básico de funcionamiento, es por medio de la digestión anaerobia descomponer la materia orgánica en compuestos más simples para su uso, mediante bacterias, con condiciones controladas de humedad, temperatura y niveles de acidez (Acosta et al. 2014).

### 5.5.1 Proceso de la biodigestión anaerobia

La descomposición de la materia orgánica por la acción de microorganismos en la ausencia de oxígeno es llamada digestión anaerobia, la cual arroja productos como amoníaco, sulfuros humos y biogás siendo el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$  los compuestos principales como producto. En la digestión anaerobia se dan una serie de reacciones que degradan la materia orgánica hasta  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  como productos finales (Cervantes, Saldivar, & Jescas, 2007). Este proceso se divide en tres etapas.

- Acidogénesis o hidrólisis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

En la Acidogénesis, los polímeros y otras sustancias complejas sufren el proceso de hidrolización y fermentación para dar compuestos químicos simples, como el acetato que es el principal precursor del metano, otros ácidos orgánicos (propiónico, butírico, láctico, valérico, etc) en la segunda etapa Acetogénesis los ácidos grasos reaccionan para ser transformados en ácido acético e hidrogeno, la etapa de formación acética representa la parte más difícil del proceso de digestión de polímeros fácilmente degradables, pero también puede ser la etapa de hidrólisis el paso limitante para constituyentes pobremente biodegradables, como es el caso de los desechos porcinos. En la Metanogénesis se llevan a cabo dos tipos de reacciones la acetoclástica, que consiste en la descarboxilación del ácido acético, y la hidrogenotrófica que consiste en la reducción del  $\text{CO}_2$  con  $\text{H}_2$  (Cervantes, 2008).

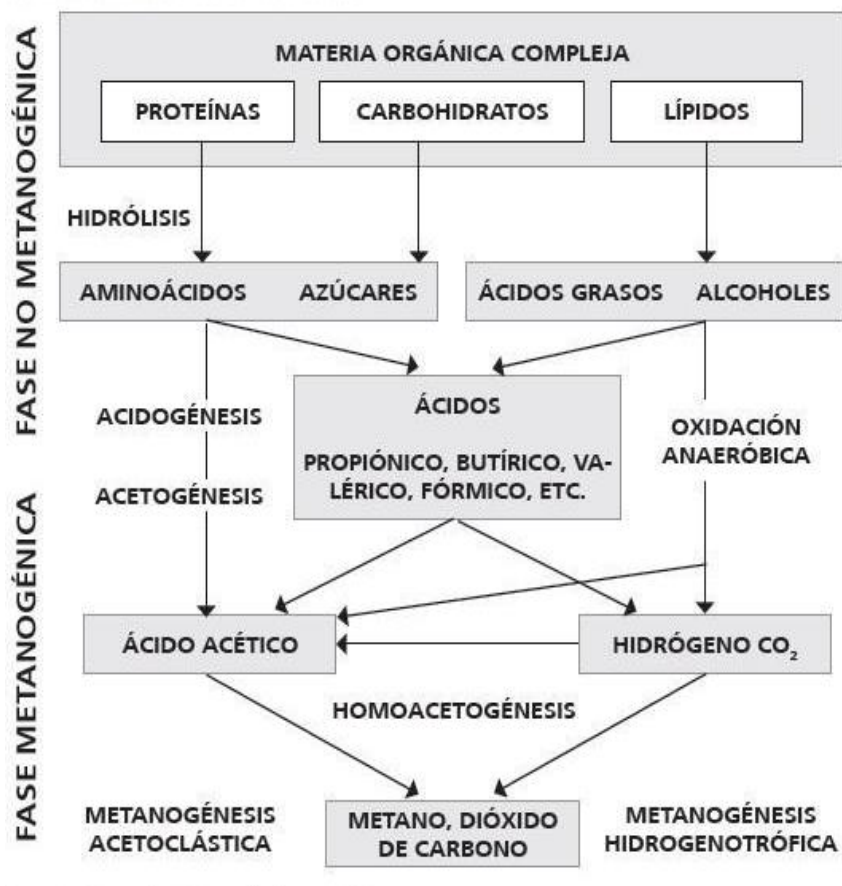


Figura 1 Esquema general de transformación bioquímica durante el proceso de digestión anaerobia.

Fuente: (Cendales & Jiménez, 2014)

### 5.5.2 Clasificación de biodigestores según el flujo de carga

Los biodigestores se pueden clasificar según su diseño de construcción y según el tipo de proceso empleado; de acuerdo al proceso empleado se pueden encontrar biodigestores de carga continua, de carga semi-continua y de carga discontinua:



## **5.6 BIODIGESTORES DE CARGA O FLUJO CONTINUO**

Estos biodigestores tienen una geometría alargada, asemejándose al sistema digestivo de un ser vivo (animal o humano). El grado de descomposición del residuo aumenta con el eje horizontal del biodigestor. Se implementan cuando el diseño supera volúmenes de 15 m<sup>3</sup>, ya que construir un modelo cilíndrico implicaría realizar una excavación demasiado profunda, dificultándose la misma por la presencia de la capa freática (Huerga, Butti & Venturelli, 2014).

## **5.7 BIODIGESTORES DE CARGA O FLUJO SEMI-CONTINUO**

El biodigestor de flujo semi-continuo, consta de la parte mezcladora y otra parte anaerobia que funciona como la zona de fermentación y gasificación de la materia orgánica en gas. Adicional al tanque anaerobio tiene una conexión para salida alterna de acuerdo a las necesidades y demandas que se presenten al momento de disponer de este gas. También tiene una conexión para la adaptación de un conector de tanque estándar de GLP para conectar cualquier tipo de cocineta para el uso del gas (Gonzabay & Suárez, 2016).

## **5.8 BIODIGESTORES DE CARGA O FLUJO DISCONTINUO (EN LOTE)**

Los biodigestores discontinuos son contenedores cerrados, que una vez cargados con la materia orgánica no permiten extraer o añadir más materia hasta que finalice el proceso completo

de biodegradación y producción de biogás. En otras palabras, el proceso finaliza cuando deja de producir todo el biogás posible. Este tipo de biodigestores admiten mucha mayor cantidad de materia orgánica poco diluida, por lo que el requerimiento de agua es menor que en otros sistemas. Otro aspecto que los favorece es que no son afectados por la presencia de material pesado como tierra o arena o algún residuo orgánico difícil de degradar como huesos, viseras, ramas, etc. (González, 2011).

## **5.9 TIPO DE BIODIGESTORES**

### **5.9.1 De planta con cúpula o campana flotante**

Este tipo de biodigestor es construido en ladrillo o mampostería bajo tierra y tiene un depósito de gas móvil en forma de campana, ésta puede flotar directamente en el biogás producido o en un anillo de agua, dependiendo de la producción de biogás, la campana se mueve de forma vertical para ello es necesario una guía en el tanque, también es conocido como digestor Indio, es muy utilizado cuando se requiere un abastecimiento diario de biogás y bioabono, es el único tipo de biodigestor que tiene un depósito de biogás en su interior (Olaya & González, 2009).

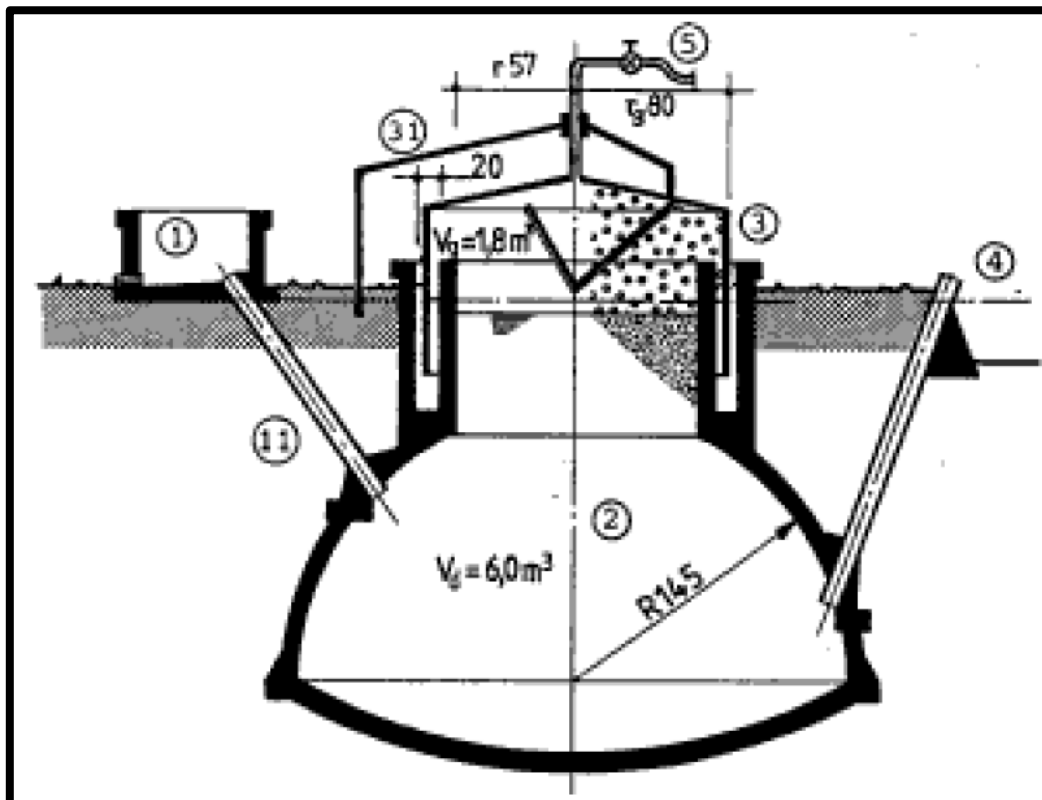


Figura SEQ Figura \\* ARABIC 2 Biodigestor de Campana Flotante

Figura 2 Biodigestor de planta con cúpula o campana flotante

Fuente: Orduña, 2012

1. Pozo de mezcla
2. Digestor
3. Gasómetro
4. Depósito de la suspensión
5. Tubería de gas

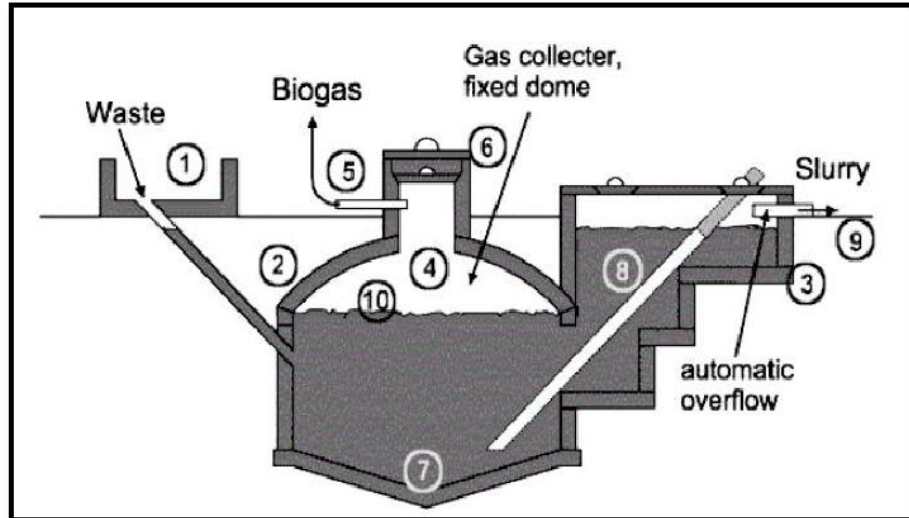
## 6. Tubo de llenado

### 5.9.2 De planta con cúpula o campana fija

Este tipo de biodigestor puede ser de orientación vertical u horizontal, contiene un depósito de gas fijo en la parte superior de tanque, éste tiene un domo fijo cerrado en la cima del tanque, la carga en digestión, se desplaza al tanque de compensación; la presión del gas aumenta con el volumen del gas almacenado y con la diferencia de altura entre el digestor y la suspensión en el tanque de compensación; cuando se extrae el gas la masa líquida que está en el tanque de compensación por la diferencia de presión torna al biodigestor (Olaya & González, 2009).

También, es conocido como biodigestor chino y su construcción en concreto es más económica que el de campana móvil, debe ser bajo tierra lo cual puede garantizar un tiempo de vida útil aproximadamente de 20 años, ya que no está expuesto al sol y a temperaturas extremas, por lo general es utilizado en fincas donde el consumo sea continuo o para almacenar el biogás en un depósito aparte del sistema (Olaya & González, 2009).

La cúpula de este biodigestor debe ser cuidadosamente sellada e impermeabilizada ya que se pueden presentar escape de gas por porosidades y grietas en los instantes en que la presión dentro del biodigestor sea muy alta (Olaya & González, 2009).



*Figura 3* Biodigestor de cúpula fija

Fuente: Fuente: Orduña, 2012

1. Tanque de mezcla con tubería de entrada y trampa de arena
2. Digestor
3. Tanque de compensación y de eliminación
4. Gasómetro
5. Tubería de gas
6. Escotilla de entrada con sello hermético
7. Acumulación de fango espeso
8. Tubería de salida
9. Nivel de referencia
10. Sobrenadante escoria interrumpido por diferentes niveles.

## 6. BIODIGESTOR DE BALÓN O TUBULAR (TIPO TAIWANÉS)

Este tipo de biodigestor lo compone un tubo en material plástico (polietileno, PVC) (ver figura 4) con un ducto de entrada de la carga y salida de la misma, este tipo de biodigestor está diseñado para que el 75% del tubo inferior contenga la masa de fermentación y el 25 % restante parte superior almacene el biogás producido (Olaya & González, 2009).

Este tipo de biodigestor también es llamado **Taiwanés** y es el más indicado para digerir todo tipo de estiércol y aguas residuales orgánicas, sin embargo, se debe garantizar la homogeneidad entre el agua y el estiércol, se debe evitar el ingreso de material inerte que pueden restar eficiencia y capacidad al biodigestor, por lo que se recomienda construir un tanque desarenador antes de la entrada al biodigestor, con el propósito de aumentar la vida útil del sistema.

Los materiales de construcción son de fácil transporte, su instalación y operación es sencillo esto lo puede hacer la misma comunidad o los mismos trabajadores sin mayor dificultad, la vida útil de este tipo de biodigestor puede ser de 3 a 8 años, es recomendado para lugares con temperaturas altas y constantes; es importante cercar el biodigestor para evitar daños de la membrana por niños, perros o gente inescrupulosa (Olaya & González, 2009).

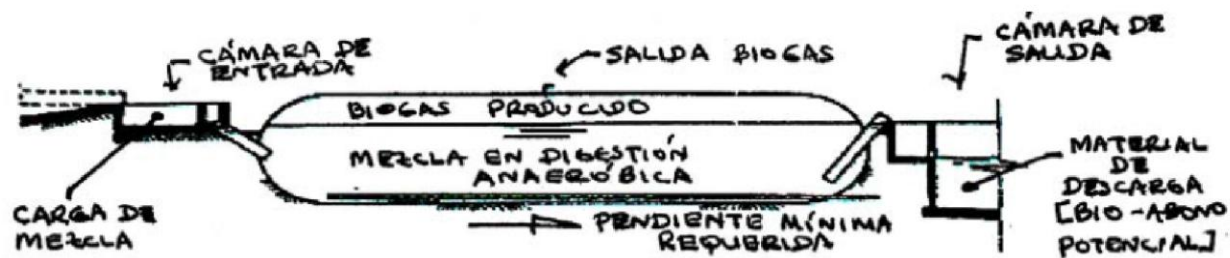


Figura 4 Esquema de biodigestor tipo Balón o Taiwanés

Fuente: (Olaya & González, 2009)



Figura 5 Biodigestor Taiwanés

Fuente: (Carpas IKL, 2016)

## 6.1 REQUERIMIENTOS PARA LA ELECCIÓN E INSTALACIÓN DE UN BIODIGESTOR

Antes de tomar cualquier decisión del tipo de biodigestor a instalar en un predio o industria, es importante saber los siguientes parámetros:

- Área interna y pendiente del terreno para la instalación del biodigestor.
- Tipo y volumen de material: Es importante saber la posible cantidad de carga orgánica, es decir una estimación del peso de excretas porcinas con que se cuenta en el día; además si se refiere a material vegetal o a estiércol y si éste es bovino, avícola, porcino etc.
- Disponibilidad de estos: Se refiere a que tan fácil es la captación del sustrato para el llenado del biodigestor.
- Topografía y climatología de la zona: Este parámetro es fundamental ya que puede determinar la velocidad de fermentación de la carga y la producción del biogás.
- Operación del sistema: Es trascendental tener claro o por lo menos comprender medianamente como funciona o se opera el sistema a seleccionar.
- Cantidad de mezcla de agua.
- Determinación del tiempo de retención hidráulica del sustrato.
- Determinación de las dimensiones del biodigestor.

## **6.2 RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO**

La relación carbono nitrógeno indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno orgánico, la relación Carbono Nitrógeno está ligada a la producción de biogás, entre mayor sea esta relación y su ajuste al intervalo recomendado (20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno) mayor será la producción de biogás por unidad de materia útil. Mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de carbono generan una elevada producción de gas (Olaya & González, 2009).



### 6.3 pH

El pH del caldo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas. Este está en función de la concentración de CO<sub>2</sub> en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima. Las bacterias responsables del mecanismo de la producción de biogás son especialmente sensibles a cambios de pH, la medición del pH indica el comportamiento de la carga de fermentación como se muestra en la tabla 2 (Olaya & González, 2009):

Tabla 2 Comportamiento del caldo de fermentación dentro del biodigestor.

<b>pH</b>	<b>Comportamiento</b>
<b>7-7,2</b>	Optimo
<b>6,2</b>	Retarda la acidificación
<b>7,6</b>	Retarda la acidificación

Fuente: (Olaya & González, 2009)

### 6.4 BIOGÁS

Los biogases, se puede definir como una mezcla de gases combustibles donde el metano es el principal componente del biogás aportando entre un 60 y 70% del total de los gases, los otros son dióxido de carbono y pequeñas trazas de hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrogeno (Ver tabla 3), el metano es el gas que confiere las características de combustión al biogás, es así como el

valor energético del biogás depende de la concentración de metano, por lo general el biogás es inodoro, insípido e incoloro (Olaya & González, 2009).

Tabla 3 Composición del Biogás

<b>Producción de Biogás</b>	<b>Porcentaje %</b>
Metano CH <sub>4</sub>	55-60
Dióxido de Carbono	35-40
Nitrógeno N <sub>2</sub>	0-3
Hidrogeno H <sub>2</sub>	0-1
Sulfuro de hidrogeno H <sub>2</sub> O	0-1

Fuente: (Olaya & González, 2009).

Existen algunos factores que intervienen en la calidad y uso adecuado del biogás como son:

- Los rangos adecuados de Metano CH<sub>4</sub> deben ser entre 55-75% del volumen total del biogás esto se garantiza estableciendo una proporción adecuada de estiércol y agua y el tiempo de retención hidráulica.
- Aunque el Dióxido de Carbono no posee características inflamables debe estar en rangos entre 25-45% del volumen total del biogás.

- Se debe verificar que el biodigestor esté totalmente sellado lo cual garantiza que no ingrese al sistema de digestión aire exterior un indicador de la presencia de aire dentro del biodigestor es encontrar  $N_2$ .
- El sistema de conducción del biogás debe contener una trampa de agua para eliminar el vapor de agua arrastrada por el biogás y que interfiere en la potencia de la llama.
- El sistema de conducción de biogás debe contar con una trampa de ácido sulfhídrico ya que este es altamente corrosivo y tóxico caracterizado por un fuerte olor a huevo podrido.
- Las instalaciones de extracción y aprovechamiento de biogás deben contar antorcha como medida de seguridad para eliminar el biogás que no se aprovecha.
- El sistema de aprovechamiento del gas debe contar con un regulador medidor el cual controla la cantidad y calidad del biogás (Cervantes, 2007).

En general, el biogás producido en un proceso anaerobio puede ser utilizado o convertido en la misma forma como otros gases combustibles. A pequeña y mediana escala, el biogás ha sido utilizado frecuentemente para cocinar, por medio de la combustión directa en estufas simples. Sin embargo, también puede ser utilizado para iluminación, para calefacción y como reemplazo de la gasolina o el diesel en motores de combustión interna (Cervantes, 2007).

El biogás puede ser utilizado como combustible para motores a diesel y a gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diesel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del diesel (la poca capacidad de

ignición del biogás no permite reemplazar la totalidad de este combustible en este tipo de motores que carecen de bujía para la combustión). Por otra parte, en los motores a gasolina, el biogás puede reemplazar la totalidad de la misma. En general, en los proyectos a nivel agropecuario se le ha dado preferencia a los motores a diesel considerando que se trata de un motor más resistente y que se encuentra con mayor uso en el medio rural (Varnero, 2011).

Es muy fundamental que el biogás, cuando es producido se quemé, aunque preferiblemente debe ser utilizado como combustible, porque si se emite hacia la atmósfera será un gas peligroso por el efecto invernadero que produce. En la actualidad un número de situaciones como éstas en diferentes países, principalmente en el sector industrial de tratamiento de aguas, donde el biogás producido no se usa del todo, o no es usado apropiadamente. Este es el caso particular, donde la producción de energía no ha sido el motivo de la instalación del tratamiento anaerobio. Esto no es únicamente un desperdicio de recursos económicos, también es una amenaza para la estabilidad del medio ambiente (Varnero, 2011).

## **6.5 BIOABONO**

Otro de los productos obtenidos en el proceso de la digestión es el efluente que sale de los biodigestores llamado bioabono, que se convierte en un fertilizante orgánico de alto poder nutricional para las vegetaciones, pues el nitrógeno, fosforo y potasio se conservan; la composición del bioabono por lo general incluye un 8.5% de materia orgánica, 2.6 % de fósforo y 1 % de potasio, con pH de 7,5.

El bioabono se puede aplicar por medio de bombeo o dispositivos de aspersión, tiene diversas utilidades, como la recuperación ò mejoramiento de la calidad de suelos. Representa un gran beneficio económico para el agricultor ya que es un producto rendidor, un metro cúbico puede fertilizar más de 2 hectáreas de suelo (Olaya & González, 2009).

## **7. METODOLOGÍA**

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema y objetivo del Proyecto Aplicado, la Pregunta a responder es ¿Qué acciones o estrategias se pueden implementar en la finca Los pomos, para mitigar el impacto ambiental generado por el estiércol porcino y las aguas servidas de la vivienda en las fuentes hídricas?

Basado en lo anterior el proyecto tiene un enfoque de investigación descriptiva cualitativa, ya que ésta permite identificar las características ambientales, culturales, sociales y económicas de las diversas actividades que se desarrollan en un lugar, de igual forma se puede plantear las diferentes relaciones entre los actores y factores encontrados, para esto se establece la siguiente metodología, la cual se desarrolla en tres fases:

### **7.1 FASE 1-DIAGNÓSTICO**

Consiste en realizar una identificación de los procesos productivos de la Finca Los Pomos, mediante visitas de reconocimiento del lugar, encuesta (ver Anexo A), observación y registro fotográfico; así mismo reconocer la red hídrica de cuerpos de agua superficial, que nacen o atraviesan el predio y los diferentes impactos generados sobre los recursos hídricos; de este modo se pueda proporcionar bases suficientes para identificar los principales impactos ambientales generados en la finca Los Pomos. Así mismo identificar el proceso de producción porcina en la finca, razas, número de cerdos, condiciones sanitarias y estructurales de las

porquerizas y el manejo del estiércol de cerdo y las aguas producto del lavado de los corrales.

Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores máximos permitidos en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades productivas de agroindustria y ganadería.

PARÁMETRO	UNIDADES	GANADERÍA DE	GANADERÍA DE
		PORCINOS CRÍA	PORCINOS BENEFICIOS
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
<b>Demanda Química de Oxígeno DQO</b>	mg/L O <sub>2</sub>	900,00	800,00
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub></b>	mg/L O <sub>2</sub>	450,00	450,00
<b>Sólidos Suspendidos Totales SST</b>	mg/L	400,00	200,00
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mL/L	5,00	5,00
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	20,00	30,00
<b>Cloruros y Sulfatos</b>	mg/L		500,00
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno</b>	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Ortofosfatos, Fósforo Total</b>	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Nitratos, Nitritos</b>	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Total</b>	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte
<b>Acidez Total, Alcalinidad</b>	mg/L	Análisis y reporte	Análisis y reporte

---

**Total, Dureza Cálrica y  
total y Color Real**

---

Fuente: Minambiente, 2015

Tabla 5 Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas de las actividades industriales, comerciales o de servicios a cuerpos de aguas superficiales.

<b>AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES O BIFAMILIARES</b>
<b>pH</b>	Unidades de pH	6,00 a 9,00
<b>Demanda Química de Oxígeno DQO</b>	mg/L O <sub>2</sub>	200,00
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO<sub>5</sub></b>	mg/L O <sub>2</sub>	
<b>Sólidos Suspendidos Totales SST</b>	mg/L	100,00
<b>Sólidos Sedimentables</b>	mL/L	5,00
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	20,00
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno</b>	mg/L	
<b>Hidrocarburos totales</b>	mg/L	
<b>Ortofosfatos, Fósforo Total</b>	mg/L	Análisis y reporte
<b>Nitratos, Nitritos</b>	mg/L	Análisis y reporte

---



**Nitrógeno Amoniacal,**  
**Nitrógeno Total**

---

Fuente: Minambiente, 2015

## **7.2 FASE 2- PROCESO DE DOCUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN**

En esta fase se indaga sobre las estrategias, métodos y tecnologías más apropiadas para el manejo y control del estiércol de cerdo para ello se investiga en literatura física y virtual, asesoría de ingenieros de campo y visitas a empresas que ofrecen dispositivos para el manejo de residuos y aguas, para lograr el objetivo de este proyecto.

Reunidos, analizados y estudiados, la información recolectada, se deciden las mejores propuestas a implementar, que integren aspectos sostenibles, tanto económicos y ecológicos, duraderos y eficientes, teniendo en cuenta las necesidades y también las limitantes del terreno.

Por otro lado, se visitan dos proveedores reconocidos (ver figura 12), con una vasta trayectoria en el mercado, quienes expusieron tecnologías, diseños y materiales de sus dispositivos, así mismo cotización y ventajas de sus productos.

El proveedor uno ofrece un biodigestor tipo Taiwanés, el segundo proveedor ofrece un biodigestor de cúpula fija para el manejo de las excretas de cerdo.

En la siguiente tabla se realiza un comparativo de características, que permitirá la elección de la mejor tecnología a instalar.

Tabla 6 Comparativo Biodigestor Taiwanés Vs Biodigestor Cúpula Fija

<b>TI</b>	<b>Proveedor 1</b>	<b>Proveedor 2</b>
<b>Biodigestor</b>	Taiwanés 7500 L	Cúpula Fija 6000 L
<b>Material</b>	Plastilona HR1000 de 1 mm	Polietileno de alta densidad
<b>Limpieza</b>	Cada 8 meses	Cada 18 meses
<b>Costo</b>	\$ 2.034.861	\$ 5.270.011
<b>Producción de Biogás</b>	4 horas de consumo	4 horas de consumo
<b>Vida útil</b>	10 años	50 años
<b>Encercamientos</b>	Requiere de un cerco para la protección de agentes externos	No requiere cerco
<b>Instalación</b>	Requiere una excavación para empotrar el biodigestor y recubrimiento con lona.	No requiere ningún tipo de excavación
<b>Otras observaciones</b>	Por ser fabricado en una bolsa o balón plástico es muy susceptible a daños por fisuras de ramas, granizo, animales, etc; lo que requiere una cubierta de protección.	Es un material de alta resistencia al impacto, antisísmico y duradero. 8 mm de espesor en la pared.

Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta la anterior tabla de comparación se toma la decisión de proponer la instalación de un biodigestor de cúpula fija por el tipo de material, el tiempo de vida útil, no requiere excavación para su instalación y la limpieza se realiza cada 18 meses.

### **7.3 FASE 3- ELABORACIÓN DE LAS PROPUESTAS**

La elaboración de las propuestas, consiste en una descripción detallada de los aspectos técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales que conllevan la futura instalación del Biodigestor, así como las recomendaciones que se requieren para su completo excelente

funcionamiento.

#### 7.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA, GENERALIDADES CLIMÁTICAS Y TOPOGRÁFICAS

La siguiente figura muestra una vista aérea de la Finca Los Pomos con la ubicación de las porquerizas, la vivienda y las fuentes de agua afectadas por el vertimiento del estiércol de cerdo y las aguas residuales domésticas.



*Figura 6* Finca Los Pomos, ubicación de las Quebradas San Juan y Floresta, las porquerizas 1 y 2, la vivienda y el afluente Arroyo Bravo.

Fuente: Google Earth

La Finca Los Pomos está ubicada en el Municipio de San Roque vereda Santa Rosita, con coordenadas geográficas 6°28'46.31" Norte y 75°02'21.16" Oeste, a una altura de 1.442 m.s.n.m, el municipio pertenece a la jurisdicción de CORNARE.

El municipio de San Roque cuenta con una temperatura promedio anual de 21°C y una precipitación anual de 3059,14 mm (Gobernación de Antioquia, 2014), se cuenta con una pendiente del terreno entre los 15 y 20°.

La Finca Los Pomos es un predio de 36 hectáreas, ubicado en el municipio de San Roque Antioquia, específicamente en la vereda Santa Rosita a 10 minutos de la cabecera municipal, la actividad productiva se centra en el cultivo de café, producción de stevia, crianza y engorde de cerdos y ganado vacuno, también se encuentra algunos cultivos de pan coger y árboles frutales.

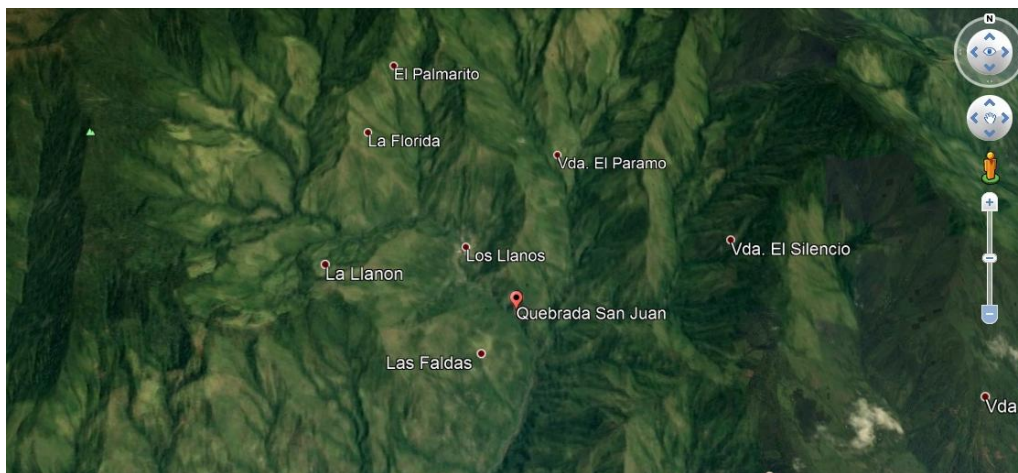
La finca Los Pomos cuenta con una gran red hídrica entre nacimientos, arroyos y quebradas dentro los que se destacan la Quebrada San Juan, Quebrada la Floresta, Arroyo Bravo, nacimientos guayabo abajo (ver figura 7) y guayabo arriba. Actualmente estos se encuentran desprotegidos y contaminados por vertimientos de aguas residuales.

La Quebrada San Juan representa un atractivo turístico para el esparcimiento, la recreación y la pesca.



*Figura 7* Nacimiento guayabo abajo

Fuente: El Autor



*Figura 8* Quebrada San Juan

Fuente: Google Earth



*Figura 9* Corrales para cerdos

Fuente: El Autor

La afectación de los cuerpos de agua superficial, resulta inminente ya que, aunque gran parte del estiércol es recogido por los trabajadores de la finca para abonar pastos, otra parte es transportada por el agua de lavado de las porquerizas o por la lluvia, un tanto se infiltra en el suelo y finalmente vierte a la Quebrada La Floresta.



*Figura 10* Estiércol de cerdo en suelo, transportado por el agua de lavado de las porquerizas.

Fuente: El Autor



*Figura 11* Quebrada La Floresta receptora del estiércol porcino

Fuente: el autor



*Figura 12* Quebrada San Juan donde desemboca La Quebrada La Floresta

Fuente: El Autor

Otro factor a considerar que se torna en una problemática es que La finca Los Pomos, carece de un sistema de acueducto y alcantarillado para el direccionamiento de las aguas residuales domésticas generadas en la vivienda hacia un sistema de tratamiento, por lo que estas son vertidas directamente sin tratamiento alguno al afluente Arroyo Bravo (ver figura 13) que pasa por un costado lateral cercano de la vivienda, generando una afectación a las aguas, por vertimientos de residuos de cocina, sanitario, ducha, lavadero y lavamanos. Son 10 habitantes permanentes de la vivienda que utilizan el agua en la casa.





*Figura 13* Vertimiento directo de aguas residuales domésticas (ARD) al afluente Arroyo Bravo.

Fuente: El Autor

## **7.5 ANÁLISIS TÉCNICO**

La Finca cuenta con dos porquerizas muy rudimentarias, cuyos corrales están contruidos de forma artesanal, con precarias medidas sanitarias para el manejo de excretas de cerdo; actualmente tienen 15 cerdos en su mayoría raza Pietrain en la etapa de engorde que generan alrededor 24 kg/día de excremento los cuales son en parte recogidos por los trabajadores de la finca y esparcidos sin tratamiento alguno sobre los pastos. Gran parte del estiércol es arrastrado por el agua de lavado o agua lluvia, terminando en el suelo por infiltración o por efecto de escorrentía vertido directo a la quebrada La Floresta. Se debe destacar que los cerdos cumplen con el plan de vacunas anual para evitar afectaciones por enfermedades porcinas, de igual forma las instalaciones son lavadas todos los días, los propietarios de la finca proyectan duplicar la cría y engorde de cerdos a muy corto plazo en la finca.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado y los objetivos del presente trabajo se elige proponer la instalación de un biodigestor vertical de cúpula fija para algo más de 30 cerdos de igual forma se tiene en cuenta factores como transporte, instalación, mantenimiento, reparación y sobre todo el tiempo de vida útil, de este modo el biodigestor propuesto para el manejo y aprovechamiento de las excretas de cerdos, es de orientación vertical de cúpula fija, en material de polietileno 100% virgen, de alta resistencia, vida útil aproximadamente de 50 años, color negro para lograr mayor grados de temperatura, no requiere de cercamientos o techos para su protección, puede remover índices de Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Sólidos solubles totales (SST), remoción de grasas y aceites mayor o iguales al 80%; son livianos, fáciles de transportar, resistentes a la intemperie y a la corrosión, impermeables a líquidos o gases, su operación y mantenimiento no requiere de personal altamente calificado, y cumple con la resolución 631 del 2015 la cual determina los valores límites máximos permisibles en los vertimientos de agua superficiales.

## **7.6 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA**

El tiempo de retención hidráulica en el biodigestor depende de la temperatura, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 7 Tiempos de retención hidráulica

Temperatura °C	Tiempo de Retención días
> 24	10-15
18-24	15-20
< 18	20-40
5	45

Fuente: (Olaya & González, 2009)

### 7.7 DETERMINACIÓN VOLUMEN DEL BIODIGESTOR

En la literatura se encuentran diversas metodologías para hallar el volumen del biodigestor, en este caso, el procedimiento metodológico empleado será el presentado en la revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, su volumen está en función de las cargas diarias y del periodo óptimo de fermentación. Este último parámetro dependerá de la temperatura media de cada región, así como de las variaciones de temperaturas diarias y estacionales (Campos, 2011).

*Área Interna de instalación:* 200 m<sup>2</sup>

*Temperatura promedio anual del Municipio de San Roque:* 21°C

*Tiempo de retención:* 20 días ver tabla 5.

*Nº de cerdos=* 30 raza Pietrain, etapa de engorde

*Peso vivo promedio animal:* 80 Kg

*% de estiércol por peso vivo:* 2%

*% de MST (Masa Seca Total): 16%*

*Relación estiércol – agua: 1:3*

## **8 Cálculos y resultados**

Peso vivo total (PVT) para 30 cerdos

$$PVT = 80 \text{ kg} * 30 \text{ cerdos}$$

$$PVT = 2.400 \text{ Kg}$$

% de estiércol por peso vivo

$$= 2.400 \text{ Kg} * 2\%$$

$$= 48 \text{ Kg/día de carga orgánica para el biodigestor}$$

% de MST (Masa seca total):

$$= 48 \text{ Kg/día} * 16\%$$

$$= 7,7 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} \text{ corresponde a los solidos totales}$$

### **7.8 RELACIÓN ESTIÉRCOL AGUA**

La relación estiércol agua depende de diversos factores como el clima y el tipo y carga de materia orgánica, es un parámetro que se ajusta o se termina de establecer en campo, cuando ya se haya instalado el biodigestor y esté en funcionamiento, mediante un seguimiento riguroso de % de agua y % de estiércol, tratando de establecer la mejor relación para la producción de biogás

que mejor se adapta a las condiciones de ubicación y producción, sin embargo de acuerdo a la bibliografía consultada se partirá para este caso de una relación 1:3, 1 de estiércol 3 de agua.

Masa de estiércol: 48 Kg/día

Masa de agua: 144 Kg/día = 144 l/día

Masa mezcla total: 192 Kg/día

Masa en el biodigestor por 20 días:

$$= 192 \text{Kg/día} * 20 \text{días}$$

$$= 3.840 \text{ Kg}$$

El volumen en el biodigestor en 20 días es de:

Tomamos la densidad del agua como referencia  $1000 \text{ kg/m}^3$

$$\text{volumen mezcla} = \frac{3.840 \text{ kg}}{1000 \text{kg/m}^3}$$

$$\text{volumen mezcla} = 3,9 \text{ m}^3$$

De acuerdo a la literatura consultada, este tipo de biodigestor está diseñado para albergar 80% de mezcla agua estiércol y 20 % de biogás; es decir que el 80% del biodigestor equivale a  $3,9 \text{ m}^3$  y el 20% equivale a  $0,975 \text{ m}^3$  de acuerdo a esto el volumen del biodigestor es:

$$\text{Volumen del biodigestor} = \text{Vo Mezcla agua estiercol} + \text{Vo. biogas}$$

$$\text{Vo del Biodigestor} = 3,9 \text{ m}^3 + 0,975 \text{ m}^3$$

$$\text{Vo del Biodigestor} = 4,87 \text{ m}^3$$

En este sentido el volumen del biodigestor debe ser 4,875 m<sup>3</sup> para el estiércol de cerdo, sin embargo, se debe considerar un volumen mayor por efectos de cambio de temperatura o aumento de estiércol en digestión, por lo que se propone un biodigestor de 6 m<sup>3</sup>.

## **7.9 PARTES DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN**

### **7.9.1 Sistema de conducción.**

Para llevar el estiércol desde los corrales hasta el tanque de mezcla, se puede usar tubería de alta densidad de 4 pulgadas de PVC o canales en concreto.

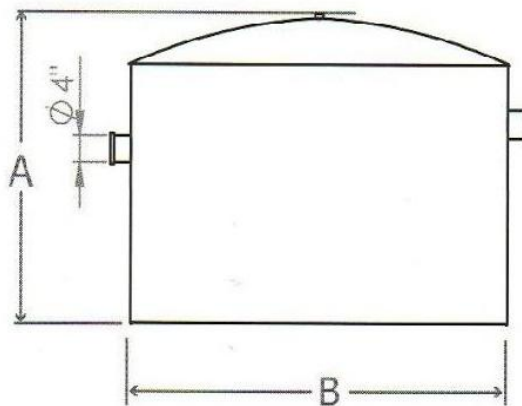
### **7.9.2 Sistema de entrada (tanque de Mezcla).**

Se recomienda instalar un tanque de polietileno o en fibra de vidrio de 300 L con una tubería de salida de 4 pulgadas.

### **7.9.3 Tanque biodigestor.**

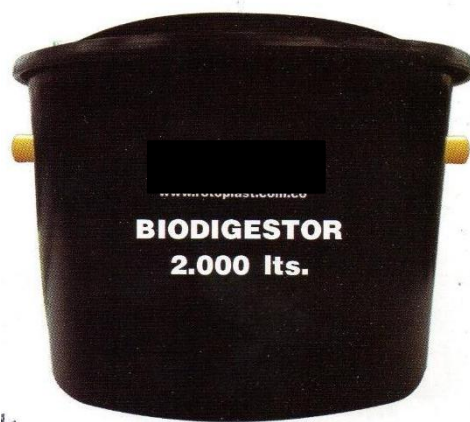
Este consiste en un tanque de polietileno lineal de alta resistencia al impacto, con capacidad nominal de 6000 L totalmente sellado con un ducto de entrada de la mezcla agua estiércol y dos ductos de salida uno de salida de biogás y el otro de bioabono.

## Biodigestor vertical



*Figura 14* Esquema biodigestor vertical de cúpula fija A= 306 cm B=164 cm

Fuente: (Rotoplast, 2016)



*Figura 15* Biodigestor vertical de cúpula fija

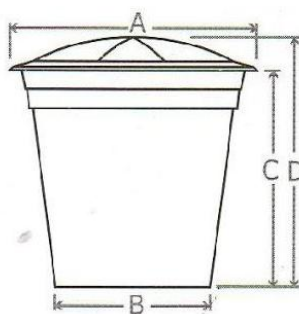
Fuente: (Rotoplast, 2016)

#### 7.9.4 Sistema de salida del bioabono.

Consiste en una tubería de salida del biodigestor de 4 pulgadas, ubicada a unos centímetros más abajo del sistema de la tubería de entrada.

#### 7.9.5 Tanque de almacenamiento del Bioabono.

Consiste en un tanque de aproximadamente 1000 L el cual está conectado al sistema de salida del bioabono, donde se almacenará el producido para luego esparcirlo en cultivos de pasto preferiblemente por medio de motobombas o de forma manual.



*Figura 16* Tanque de almacenamiento de bioabono de 1000 L de capacidad

Fuente: (Rotoplast, 2016)



### **7.9.6 Sistema de salida del biogás.**

Este se encuentra en la mitad de la parte superior del biodigestor, consiste en un acople con tubería de PVC de 1 pulgada esta a su vez se conectará al sistema de conducción del biogás.

### **7.9.7 Sistema de conducción del biogás.**

Este se hace con tubería de polietileno de alta densidad en 1 pulgada con una serie de reguladores y válvulas que se enumeran a continuación, hasta el lugar donde se utilizara el biogás (estufa, lámparas, calderas etc.).

## **7.10 REGULADORES Y TRAMPAS:**

### **7.10.1 Regulador de presión.**

El biogás que en momentos no se aprovecha se puede descargar por medio de una válvula de seguridad que evite sobre presiones y daños en conexiones de las tuberías, en este caso se utilizara una salida en T que se desprende de la tubería de conducción del biogás, de 50 cm de larga, la cual estará sumergida en un recipiente con agua aproximadamente 30 cm, en caso de presentarse una sobrepresión de biogás este escapara por medio de este sistema.

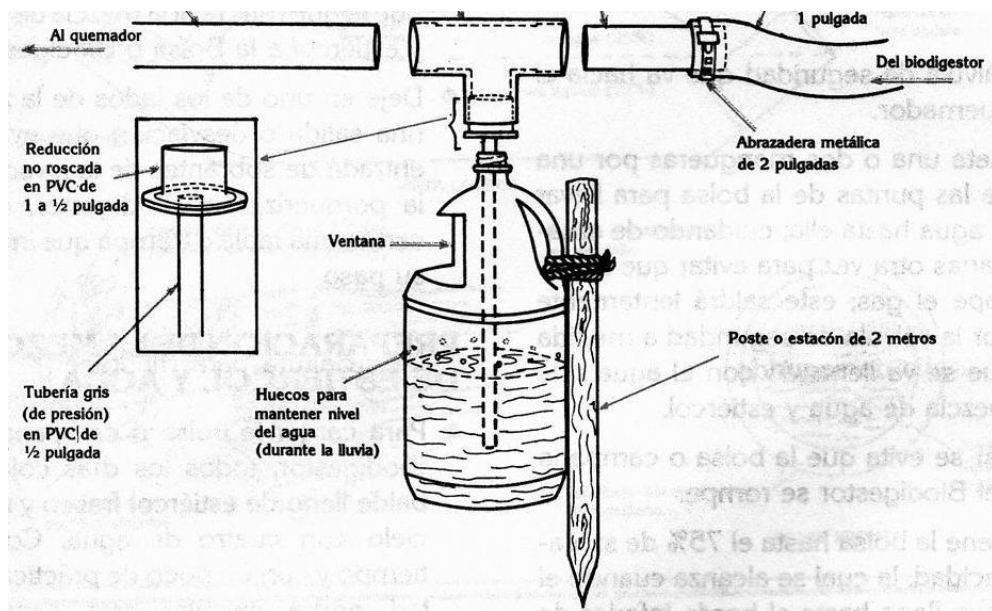


Figura 17 Regulador de presión

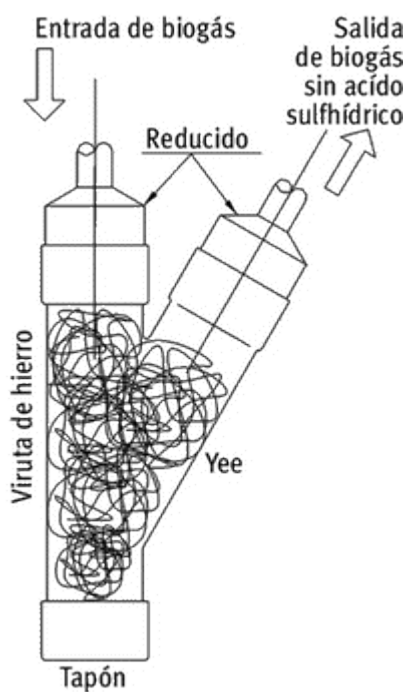
Fuente: (Seresvivos, 2012)

### 7.10.2 Trampas.

Teniendo en cuenta que el biogás está formado por una mezcla de metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y en algunas ocasiones ácido sulfhídrico; es fundamental purificar el gas para obtener mejores resultados energéticos por un lado y por otro lado para proteger los equipos de la corrosión producida por las trazas de ácido. El dióxido de carbono resta poder calorífico, el ácido sulfhídrico genera olores ofensivos; puede ocurrir explosión o incendio por retroceso de la llama; para prevenir esto y como seguridad en el biodigestor se colocan una serie de trampas denominadas:

### 7.10.3 Trampa de ácido sulfhídrico.

La presencia de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) en el biogás, aún en valores inferiores a 1%, resulta una dificultad cuando se trata de utilizar el biogás en motores, refrigeradores, calentadores u otros dispositivos metálicos que pueden ser afectados por este gas corrosivo. Utilizando la trampa sugerida (que sustituye filtros a base de óxido de hierro), es posible eliminar el azufre. Se requiere, evidentemente, revisar y sustituir la viruta de hierro cuando se agote en el depósito, por lo que se recomiendan soluciones de diseño que permitan un acceso fácil al interior.



*Figura 18* Trampa de Ácido Sulfhídrico

Fuente: (Guardado, 2013)

- Trampa o filtro de Dióxido de Carbono
- Trampa de agua
- Trampa de llama

De esta forma se puede utilizar en calidad de gas natural o metano sin ningún riesgo.

#### **7.10.4 Llaves de paso.**

Estas llaves controlan el paso de gas en caso tal de que no se esté utilizando o se vaya hacer una reparación.

#### **7.10.5 Sistema para descargue para mantenimiento.**

Para hacer mantenimiento de estas, se debe ubicar a 30 cm del piso del biodigestor, un dispositivo para la purga o para descargar la mezcla en digestión, dejando una reserva de este caldo para preservar un buen % de las bacterias anaerobias.

#### **7.10.6 Medidor de gas (opcional).**

Este se instala para medir la cantidad de gas producido en el biodigestor.

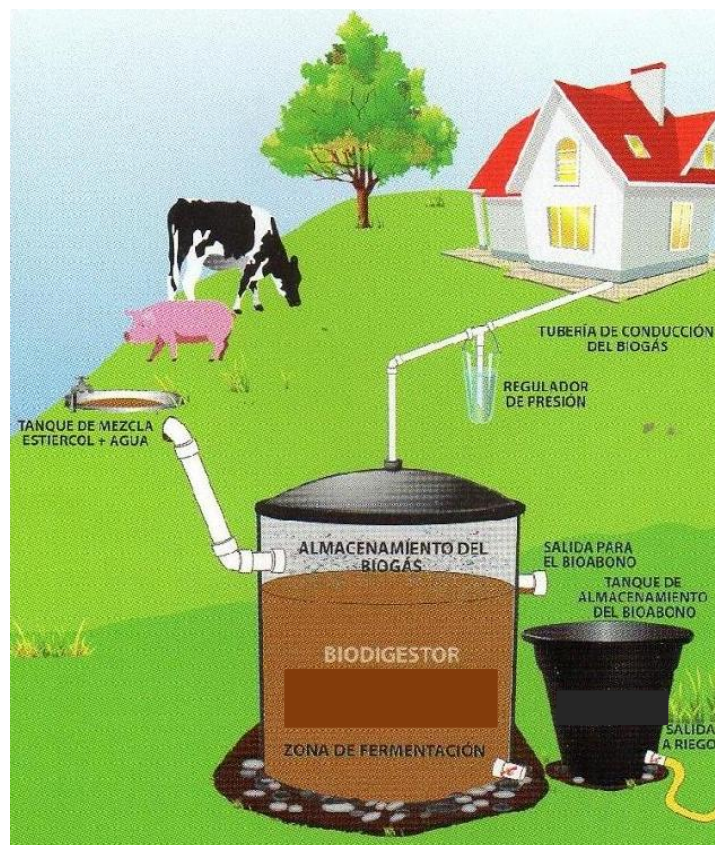


Figura 19 Esquema estructural para la biodigestión.

Fuente: (Cuchillo, 2016)

### 7.11 INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL BIODIGESTOR

Este tipo de biodigestor puede ir sobre el suelo, sin embargo, es recomendable realizar un banqueo de 10 centímetros de profundidad para que este quede fijo, es necesario que los tanques de entrada y de salida estén previamente contruidos o instalados, se deben seguir las recomendaciones del fabricante para el acople de tuberías (Cuchillo, 2016).

## 7.12 MANTENIMIENTO

Este tipo de biodigestor no requiere de gran mantenimiento, para el correcto funcionamiento, más bien se deben seguir algunas recomendaciones, que permitirá su fácil operación y prolongará su vida útil:

- El biodigestor simula la digestión de cualquier animal, en este sentido es fundamental alimentar el biodigestor todos los días con la mezcla Agua-Estírcol para mantener con vida las bacterias anaerobias.
- Se debe procurar por la quema total del biogás producido, de lo contrario este puede escapar a la atmósfera.
- Se debe renovar el filtro para el ácido sulfhídrico, por lo menos cada 6 meses.
- Se debe vigilar la condensación y por tanto acumulación del agua en las tuberías de salida del biogás, pues esto puede hacer que llegue el gas de forma intermitente a la estufa, en este caso se debe revisar la trampa de agua.

Se debe evitar el lavado del piso de los corrales con creolina o límpido ya que este puede llegar al biodigestor y matar gran cantidad de las bacterias que producen el biogás, de este modo se recomienda evacuar por lo menos, una quinta parte del contenido del biodigestor. Esto se debe realizar cada 18 meses para evitar la acumulación de sólidos.

### 7.13 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

El biodigestor de 6m<sup>3</sup> puede producir aproximadamente 2,5 m<sup>3</sup> de biogás por día según indicaciones del fabricante, en la práctica esto es suficiente para un tiempo de cocción de 3 a 5 horas al día, en algunos casos producen menos cantidad dependiendo de la estabilización de la fermentación, la constancia en el cargue de materia orgánica y el mantenimiento que se le proporcione; la producción estable del biogás es muy variable y puede tardar entre 60 y 90 días.

Teniendo en cuenta lo anterior y que el consumo promedio de energía de acuerdo a la factura de servicios públicos de la vivienda de la finca Los Pomos es de 145 Kw equivalentes a 4,83 Kw día y que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 6.5 Kw se puede decir que se puede suplir la demanda energética de la vivienda de la finca suficientemente, sin embargo el sistema de presión no es lo apropiado para alcanzar tal eficiencia por lo que se recomienda utilizar el biogás en forma de calor para la cocción de alimentos de 3 a 5 horas o para el calentamiento de lechones en la madrugada (Emison, 2015).

Tabla 8 Equivalencias energéticas en Kw y m<sup>3</sup>.

Demanda energética de la finca por mes (Kw)	Demanda energética de la finca por día (Kw)	Equivalencia de 1m <sup>3</sup> de biogás en Kw	Producido de Biogás proyectado m <sup>3</sup>	Producido de Biogás proyectado en Kw
145	4,83	6,5	2.5 m <sup>3</sup>	13

Fuente: El Autor

Los quemadores de gas convencionales se pueden adecuar fácilmente para operar con biogás, solamente se debe cambiar la relación aire-gas, el requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo (Varnero, 2011).

Por otro lado se proyecta una producción de 192 Kg/día de bioabono con todas las características de los abonos orgánicos, que reemplaza con ventajas los abonos químicos ya que está compuesto por sustancias promotoras del crecimiento de las plantas como la creatina, auxina entre otros; además mejora las condiciones de porosidad, para la aireación y circulación del agua dentro del suelo, esto representa un ahorro económico de energía y de fertilizantes para el propietario de la finca y una mayor utilidad en producción de plantas, en este mismo sentido y teniendo en cuenta que en la finca los Pomos se realizan 3 abonados en el año solo para las 2 hectáreas del cultivo de café en el que se requieren 12 bultos de Urea granulada de 50 Kg y 9 bultos de triple 15 granulada de 50Kg anual, se estiman los costos de inversión en la siguiente tabla:

Tabla 9 Costos de inversión anual en fertilizantes de la Finca Los Pomos

<b>Abono</b>	<b>Numero de bultos al año de 50 Kg</b>	<b>Total de Kg al año de Abono</b>	<b>Precio unidad bulto</b>	<b>Valor Total</b>
<b>Urea Granulada</b>	9	450	\$51.600	\$464.400
<b>Triple 15</b>	27	1.350	\$73.500	\$1.984.500
<b>Total</b>	36	1.800	\$125.100	\$2.448.900

Fuente: El Autor



Tabla 10 Producción de bioabono diario y anual

<b>Total bioabono producido día (Kg)</b>	<b>Total bioabono producido en el año (365 días) (Kg)</b>
192	70.080

Fuente: El Autor

Basados en los cálculos anteriores se puede decir que se puede alcanzar un ahorro en 1.800 Kg de fertilizante equivalente a \$2.448.900 pesos al año ya que con la producción de bioabono es suficiente para cubrir esta demanda de fertilizantes.

Se proyecta el uso del bioabono en pastos de corte como el gramalote y el King grass, para la alimentación del ganado vacuno, también se utilizará mediante un proceso de compostaje como bioabono de las plantas de café y obtener así un mayor rendimiento en la producción de café.

Los costos de adecuación e implementación del biodigestor vertical de cúpula fija se relacionan en la siguiente tabla:

Tabla 11 Presupuesto tentativo para la instalación del biodigestor vertical de cúpula fija.

<b>Concepto</b>	<b>Presupuesto tentativo para la instalación del biodigestor vertical de cúpula fija</b>				
	<b>Unidad/ jornales</b>	<b>Dedicación</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>1. Personal Técnico</b>					
Tecnólogo de campo	2	100%	1,00	\$80.000	\$160.000
Plomero para acople e instalación del sistema de digestión (incluye herramientas)	2	100%	1,00	\$70.000	\$140.000
<b>Subtotal 1. Personal técnico</b>					<b>\$ 300.000</b>

<b>2. Compra Biodigestor Rotoplast y otros materiales</b>		<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	
			\$		
		1	5.270.01	\$ 5.270.011	
	Biodigestor		1		
	Tanque cónico para el almacenamiento del biosólidos	1	\$290.700	\$290.700	
	Tubería en PVC de 4 pulgadas	5 metros	\$16.500	\$82.500	
	Tubería en PVC de 1,2 pulgadas	30 metros	\$4.400	\$132.000	
	T en PVC y otros accesorios de acople			\$80.000	
	Tanque de mezcla de Polietileno de 300 L	1	\$200.000	\$100.000	
<b>Subtotal 2. Compra de Biodigestor</b>				<b>\$ 5.955.211</b>	
<b>3. Transporte biodigestor y materiales</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
	Transporte para carga volumétrica Medellín- San Roque	1	1	\$300.000	\$300.000
<b>3.Subtotal componente socio ambiental</b>				<b>\$300.000</b>	
<b>Total IVA incluido</b>				<b>\$6.555.211</b>	

Fuente: El Autor

## 7.14 ANÁLISIS SOCIAL

Teniendo en cuenta, que el agua es un bien común, el biodigestor es una alternativa ecológica y sustentable que garantiza un aire más limpio para la vereda y un agua más limpia de la quebrada San Juan donde se recrean y realizan pesca deportiva, muchos San Rocanos y visitantes de diferentes lugares del país y del mundo, en este sentido se favorece la preservación de la gran

red hídrica que posee la finca con cada uno de los ecosistemas que subsisten en ella pese a la deforestación que se ha venido presentando en los últimos años; esto beneficia a la comunidad vecina quienes aguas abajo pueden proveerse del agua de la quebrada para sus actividades o del material de playa como la arena. El biogás permite crear en el campesino una cultura ecológica y de protección al medio ambiente, al no tener que talar árboles para la cocción de alimentos o simplemente no utilizar la energía eléctrica que también vulnera los ecosistemas naturales con la fabricación de las plantas generadoras de energía.

El biogás, proporciona al campesino mejor calidad de vida en salud ya que al no cocinar con leña no se somete a respirar material particulado, de igual forma no ahúma techos u ollas. Dado que la actividad porcina se extiende en el municipio de San Roque más específicamente en la vereda Santa Rosita este sistema de biodigestor es un modelo a implementar para los vecinos de la zona.

### **7.15 ANÁLISIS AMBIENTAL**

Los biodigestores evitan la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, ya que el estiércol es tratado, degradado y transformado en bioabono, el cual sirve para el riego de cultivos especialmente de pastos, éste tiene efecto residual y no se pierde con la lluvia, regulan la temperatura del suelo, ayudan a disminuir los procesos erosivos y de evaporación, por otro lado, se evita la tala de árboles para la cocción con leña y además la emisión de gases de efecto invernadero como el metano  $\text{CH}_4$  y óxido Nitroso  $\text{N}_2\text{O}$ .

## 7.16 RECOMENDACIONES

- En caso de tener que vaciar completamente el contenido del biodigestor, es necesario almacenar un porcentaje del lodo con el contenido bacteriano para iniciar nuevamente el arranque del biodigestor.
- En caso de introducirse una carga mayor a los del diseño del biodigestor, se puede presentar un arrastre de las bacterias que degradan la materia orgánica y los tiempos de retención hidráulica serán más cortos, lo que puede alterar el pH del caldo de fermentación, generar procesos de acidificación, malos olores y disminución de biogás. Para ello es recomendable suministrar una cucharada de cal para subir el pH a 7.

## 7.17 DISCUSIÓN

A partir del problema hallado, sobre el deterioro ambiental producto del vertimiento del estiércol porcino sin tratamiento alguno, sobre las fuentes de agua más exactamente la Quebrada La Floresta de la finca Los Pomos, se elige el biodigestor vertical de cúpula fija en polietileno de alta resistencia, para el tratamiento de los mismo, pese a que en Colombia se utiliza en la zona rural con mayor frecuencia el biodigestor tubular tipo Taiwanes.

En la bibliografía se encuentra una vasta referencia de biodigestores tipo Taiwanes, libros, revistas, videos instruyen sobre su instalación, mantenimiento, puesta en marcha y reparación, sin embargo es una tecnología que a pesar de su facilidad económica para conseguirla requiere

de una cárcava para su empotramiento, un cercamiento y techo de protección para cuidar la lona a su vez la cárcava requiere una lona que cubra rocas puntiagudas u otros objetos que puedan fisurar la lona, con el tiempo estas lonas estéticamente se verán llenas de parches producto de las reparaciones que se le realicen así mismo estará susceptible a tener fugas o tener porosidades por donde puede salir el biogás.

De este modo el biodigestor de polietileno vertical de cúpula fija representa una inversión más que un gasto, ya que su material y su diseño garantizara no solo un excelente funcionamiento si no también la producción de biogás y bioabono durante todo su tiempo de vida útil, además el proveedor es el único en Medellín que cuenta con la certificación de Icontec bajo las normas ISO 9001:2008, ISO 14001:2004.

## 8 CAPÍTULO II. SISTEMA SÉPTICO

### 8.1 RESUMEN

El presente capítulo se ha centrado en reconocer los diferentes sistemas sépticos propuestos en el RAS 2017 Reglamento Técnico Del Sector De Agua Potable y Saneamiento Básico Título E, así como su funcionamiento, factores a tener en cuenta para su elección e instalación y en este sentido entender cómo se realiza el mantenimiento de sus diversas partes. También se describen diversas leyes que determinan parámetros máximos de vertimientos de las aguas residuales domesticas sobre campos de infiltración o cuerpos de agua superficial.

Por último, se describe la propuesta de instalación del sistema séptico integrado para la finca Los Pomos, las ventajas de este sistema séptico sobre otros y su forma de instalación; en este sentido realizando su debido análisis técnico, financiero, económico, social y ambiental.

## 8.2 INTRODUCCIÓN

En Colombia y América Latina el problema de la contaminación de las fuentes de agua por el vertimiento de aguas residuales domésticas rurales sigue siendo preocupante, en el sentido de que existe poca infraestructura para el tratamiento de las mismas y sumado a esto existe abandono de los sistemas ya implementados en muchos sectores (Villegas & Vidal, 2009).

Es prioritario entonces desarrollar metodologías encaminadas a aumentar la sostenibilidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y así mismo disminuir el impacto ocasionado por los vertimientos de agua contaminada (Villegas & Vidal, 2009).

Según Menéndez, el agua es un bien público de título estatal, donde todos los que se benefician de ella, deben solidariamente darle un buen uso y en lo posible reintegrarla al entorno en iguales o mejores condiciones, se busca realizar un diagnóstico concienzudo sobre cómo se llevan a efecto, los diferentes procesos productivos, el manejo de los residuos sólidos y líquidos y como estos resultan afectando las fuentes de agua por falta de pozos sépticos y por la deforestación que se viene presentando (Menéndez, 2016).

Dado lo anterior siguiente capítulo tiene como objetivo destacar la información de los diferentes sistemas o dispositivos para el tratamiento de aguas residuales domésticas, para así elegir el que mejor se adapte a las condiciones económicas y también climáticas de la Finca Los Pomos, para ello fue necesario investigar en la bibliografía existente, realizar las visitas de

reconocimiento del acueducto de la finca y visitar proveedores para obtener la asesoría de cada uno de ellos.



## 9. MARCO TEÓRICO

### 9.1 ANTECEDENTES

Rosales 2005, realizó una recopilación acerca del funcionamiento de los tanques sépticos, ya que en la actualidad un alto porcentaje de las viviendas de este país, y de la región centroamericana, están conectadas a un tanque séptico. Por ello, y con el propósito de contribuir con mejores prácticas en el campo de la construcción preparó, producto de las investigaciones, un documento sobre tanques o fosas sépticas. El trabajo realizado tiene una breve introducción de lo que es la técnica: tanques sépticos y cada uno de los elementos que la componen y que intervienen en este proceso sanitario de tratamiento. Revisa un procedimiento racional para calcular el volumen del tanque, las pruebas de infiltración y del procedimiento apropiado que también debe seguirse para el tratamiento de los lodos por extraer periódicamente.

Márquez 2008, estudió alternativas de recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades en el departamento de Sucre, centrándose solamente en el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico con pretratamiento en tanque séptico. En este trabajo pudo concluir que el tanque séptico debe tener un periodo de retención mayor de 24 horas, tener una configuración de la unidad de salida con pantalla para gases, la relación de área superficial a profundidad debe ser mayor de 2 y debe preferir un tanque de cámaras múltiples con interconexiones similares a las de la unidad de salida.

Lizarazo y Orjuela 2013 estudian los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia, entre ellos destacaron el sistema séptico, como uno de los primeros tratamientos de agua residual de la humanidad. Generalmente estos sistemas son utilizados para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicio de alcantarillado. Como resultados obtuvieron: Las remociones en sólidos totales y en carga contaminante no necesariamente responden a la normatividad establecida. La falta de control y seguimiento a los procesos y la carencia de mantenimiento en los sistemas hacen que las remociones se realicen por debajo de los estándares. Las empresas prestadoras del servicio incumplen las normas de vertimiento de aguas residuales, desconocen el protocolo de operación, no hacen el mantenimiento adecuado a la infraestructura y son vulnerables a fenómenos naturales. Uno de los aspectos más críticos es que se están alterando las fuentes hídricas en municipios que no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales.

## **9.2 CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO POR LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (ARD)**

El recurso hídrico, es contaminado o alterado física, química o biológicamente por la descarga de aguas residuales producto de las actividades domésticas del hombre a cuerpos de agua superficial; el agua residual contiene contaminantes derivados de los residuos domésticos lo cual lleva al incumplimiento de los estándares de descargas de efluentes, establecidos por el Ministerio del Medio ambiente y Desarrollo Territorial en Colombia.

Físicamente, el afluente de aguas residuales puede alterarse en el color, el olor o la temperatura del agua natural, químicamente las aguas residuales domésticas (ARD) pueden verter carbohidratos, grasas y aceites, pesticidas de residuos agrícolas, agentes tenso activos, cloruros, fosfatos, nitratos, compuestos orgánicos volátiles COV, entre otros; las aguas residuales domésticas (ARD) también pueden verter residuos biológicos como restos de animales, restos vegetales, bacterias y virus (Casquete & Choez, 2014).

### **9.3 NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE PARA EL MANEJO DE AGUAS DOMÉSTICAS**

El decreto 1449 de junio de 1977, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, determina:

*Artículo 2.* En relación con la conservación, protección y aprovechamiento de las aguas, los propietarios de predios están obligados a:

*Numeral 1:* No incorporar en las aguas, cuerpos o sustancias sólidas, líquidas o gaseosa, tales como basuras, desechos, desperdicios o cualquier sustancia tóxica, o lavar en ellas utensilios, empaques o envases que los contengan o hayan contenido (Minambiente, 1977).

*Numeral 9:* Construir pozos sépticos para coleccionar y tratar las aguas negras producidas en el predio cuando no exista sistemas de alcantarillado al cual pueden conectarse.

#### **9.4 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

En Colombia y en el mundo, las tecnologías desarrolladas para el manejo de aguas residuales domésticas rurales, están representadas en dispositivos con métodos anaerobios ya que la energía necesaria para el funcionamiento de los sistemas anaerobios es mínimo, comparado con los sistemas de tratamiento aerobio que, si requieren altos costos de inversión y operación.

#### **9.5 POZO O SISTEMA SÉPTICO**

El pozo séptico es un sistema unitario o múltiple utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas, producidas por familias que habitan zonas rurales poco pobladas o en un conjunto de viviendas donde no existe acceso a otros sistemas colectivos de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD), de igual forma es utilizado para el tratamiento de aguas residuales provenientes de instituciones educativas y hospitales.

El tanque o pozo séptico, es apropiado para viviendas que cuentan con un abastecimiento de agua permanente y continuo, puede recibir temporalmente el agua con excrementos humanos y el agua proveniente de la cocina, ducha, sanitario, lavamos, lavadero y lavadora. Un sistema séptico está compuesto por lo general de tres partes fundamentales, la primera es la trampa de grasas la cual retiene aceites y grasas provenientes de la cocina, el segundo es un tanque séptico donde los sólidos se separan de las aguas y se asientan en el fondo, mientras que una nata de aceites y grasas se suspende en la parte superior, el agua parcialmente tratada, sale del tanque y entra a un

filtro anaerobio donde se retienen los sólidos y el agua ya más limpia sale a una estructura de infiltración en el suelo llamado campo de absorción o drenaje, este permite el tratamiento final y la evacuación de las aguas.

### **9.5.1 Criterios para la elección de sistema o pozo séptico.**

Los Criterios para la elección de un sistema o tanque séptico son los siguientes (CORNARE, 2012):

- Determinar el número de habitantes de la vivienda y la producción per cápita de agua residual.
- Considerar un tiempo de retención hidráulica, suficiente para la separación de los sólidos y la estabilización del líquido.
- Asegurar que el tanque o sistema séptico sea lo bastante grande para la acumulación de los lodos y las natas.
- Tener en cuenta, las condiciones topográficas del terreno como pendiente y nivel freático.
- Flexibilidad para la instalación, operación y mantenimiento.
- Tiempo de vida útil.

Otros criterios que se deben tener en cuenta a la hora de instalar un sistema séptico son temperatura, tipo de suelo y permeabilidad, prácticas agrícolas, requerimientos de calidad para

descargas superficiales y subsuperficiales, nivel freático, información de los cuerpos de agua de la zona (Ministerio de Desarrollo Económico, 2009).

Según el Título E del RAS, se deben efectuar algunos estudios mínimos antes de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas (ARD) como:

- Inspección visual
- Estudio de suelos: Humedad, permeabilidad, granulometría, conductividad hidráulica saturada.
- Topográficos: Pendiente del terreno
- Hidrológicos: Precipitación (promedio máximo mensual), evapotranspiración y evaporación (promedio mensual)
- Revisión de estudios previos hechos en la zona.
- Vulnerabilidad sísmica.
- Inundaciones

Para el efectivo tratamiento de las aguas residuales domesticas se deben implementar fundamentalmente, la trampa de grasas y el sistema séptico los cuales se describen a continuación:

### **9.5.2 Trampa de grasas.**

Son tanques pequeños de flotación donde la grasa se suspende, y es retenida mientras el agua aclarada sale por una descarga inferior. No contiene partes mecánicas y el diseño es parecido al de un tanque séptico. Recibe nombres específicos según al tipo de material flotante que vaya a removerse.

- Domiciliar: Normalmente recibe residuos de cocinas y está situada en la propia instalación predial del alcantarillado.
- Colectiva: Son unidades de gran tamaño y pueden atender conjuntos de residencias e industrias.
- En Sedimentadores: Son unidades adaptadas en los sedimentadores (primarios en general), de tal forma que permiten recoger el material flotante en dispositivos convenientemente proyectados, para encaminarlo posteriormente a las unidades de tratamiento de lodos.

### **9.5.3 Localización.**

De acuerdo a lo especificado por el RAS título E deben localizarse lo más cerca posible de la fuente de agua residual (generalmente la cocina) y aguas arriba del tanque séptico, sedimentador primario o de cualquier otra unidad que requiera este dispositivo buscando prevenir

obstrucciones, adherencia a piezas especiales, acumulación en las unidades de tratamiento y malos olores. Debe tenerse en cuenta, que independientemente de su localización, deben existir condiciones favorables para la retención y remoción de las grasas.

#### **9.5.4 Parámetros de diseño.**

El diseño debe realizarse de acuerdo con las características propias y el caudal del agua residual a tratar, considerando que, la capacidad de almacenamiento mínimo expresada en kg. de grasa debe ser de por lo menos una cuarta parte del caudal de diseño (caudal máximo horario) expresado en litros por minuto (Ministerio de Desarrollo Económico, 2009).

Se recomienda colocar elementos controladores de flujo en las entradas para protección contra sobrecargas o alimentaciones repentinas. El diámetro de la entrada debe ser de un diámetro mínimo de 50 mm y el de la salida de por lo menos 100 mm. El extremo final del tubo de entrada debe tener una sumergencia de por lo menos 150 mm. El tubo de salida haga la recolección debe localizarse por lo menos a 150 mm del fondo del tanque y con una sumergencia de por lo menos 0.9 m (Ministerio de Desarrollo Económico, 2009).



### **9.5.5 Operación y mantenimiento.**

Este dispositivo requiere de una limpieza periódica, 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. Para restaurantes, la frecuencia de bombeo varía desde una vez cada semana hasta una vez cada dos o tres meses. Estas unidades deben ser dotadas de las siguientes características:

- Suficiente capacidad de acumulación de grasa entre cada operación de limpieza.
- Condiciones de turbulencia mínima suficiente para permitir la flotación del material.
- Dispositivos de entrada y salida convenientemente proyectados para permitir una circulación normal del afluente y el efluente.
- Distancia entre los dispositivos de entrada y salida, suficiente para retener la grasa y evitar que este material sea arrastrado con el efluente.
- Debe evitarse el contacto con insectos, roedores, etc.

### **9.5.6 Tanque Séptico.**

Son tanques generalmente subterráneos, sellados, diseñados y construidos para el saneamiento rural. Deben llevar un sistema de pos tratamiento. Se recomiendan solamente para:

- Zonas desprovistas de redes públicas de alcantarillados.
- Alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas que cuentan con redes de alcantarillado locales.
- Retención previa de los sólidos sedimentables, cuando la red de alcantarillado presenta diámetros reducidos.

Se debe evitar que les entre:

- Aguas lluvias ni desechos capaces de causar interferencia negativa en cualquier fase del proceso de tratamiento.
- Los efluentes a tanques sépticos no deben ser dispuestos directamente en un cuerpo de agua superficial. Deben ser tratados adicionalmente para mejorar la calidad del vertimiento.

### **9.5.7 Tipos de Tanques sépticos.**

Según el RAS Título E, se permiten los siguientes tipos de pozos sépticos:

- Tanques convencionales de dos compartimentos.
- Equipados con un filtro anaerobio.
- Según el material: de concreto o de fibra de vidrio o de otros materiales apropiados.

- Según la geometría: rectangulares o cilíndricos, 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.

### 9.5.8 Localización.

La localización de un sistema séptico, deben conservar distancias mínimas:

- 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración.
- 3.0 m distantes de árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua.
- 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza.

### 9.5.9 Medidas internas mínimas recomendadas.

- Profundidad útil. debe estar entre los valores mínimos y máximos dados en la Tabla 8.
- Diámetro interno mínimo de 1.10 m, el largo interno mínimo de 0.80 m y la relación ancho/largo mínima para tanques prismáticos rectangulares de 2: 1 y máxima de 4: 1.

Tabla 12 Valores de profundidad útil

<b>Volumen Útil (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Profundidad útil mínima (m)</b>	<b>Profundidad útil máxima (m)</b>
Hasta 6	1,2	2,2
De 6 a 10	1,5	2,5

Más de 10	1,8	2,8
-----------	-----	-----

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2009)

#### **9.5.10 Número de cámaras.**

Se debe tener en cuenta cámaras múltiples, en serie para tanques de volúmenes pequeños a medianos, que sirvan hasta 30 personas. Para otros tipos de tanques, se recomienda lo siguiente:

- Tanques cilíndricos: tres cámaras en serie.
- Tanques prismáticos rectangulares: dos cámaras en serie.

#### **9.5.11 Filtro de grava**

Para el dimensionamiento se recomienda utilizar la siguiente metodología:

#### **9.5.12 Volumen útil del medio filtrante.**

El diseñador debe seleccionar una metodología de diseño que garantice el correcto funcionamiento del sistema teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Atascamiento.

- Área específica.
- Tiempo de contacto.
- Granulometría.

Además, se recomiendan los siguientes detalles constructivos:

El medio filtrante debe tener una granulometría uniforme; la profundidad (h) útil es 1.80 m para cualquier volumen de dimensionamiento; el diámetro (d) mínimo se recomienda de 0.95 m; el diámetro máximo y el largo (L) no deben exceder tres veces la profundidad útil y el volumen útil mínimo será 1,250 L.

### **9.5.13 Operación y mantenimiento.**

Los lodos y las espumas acumuladas deben ser removidos en intervalos equivalentes al periodo de limpieza del proyecto.

Estos intervalos se pueden ampliar o disminuir, siempre que estas alteraciones sean justificadas y no afecten los rendimientos de operación ni se presenten olores indeseables, es pertinente realizar 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 del tanque, la cubierta debe mantenerse abierta durante un tiempo suficiente (>15 min.) para la remoción de gases tóxicos o explosivos.

Por ningún motivo, los lodos removidos, pueden arrojarse a cuerpos de agua; en zonas aisladas, los lodos pueden disponerse en lechos de secado, ya 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 consumen crudas.

## **10. METODOLOGÍA**

Teniendo en cuenta el planteamiento del problema y objetivo del Proyecto Aplicado, la Pregunta a responder es ¿Qué acciones o estrategias se pueden implementar en la finca Los pomos, para mitigar el impacto ambiental generado por el estiércol porcino y las aguas residuales domésticas de la vivienda en las fuentes hídricas?

Basado en lo anterior el proyecto tiene un enfoque de investigación descriptiva cualitativa, ya que ésta permite identificar las características ambientales, culturales, sociales y económicas de las diversas actividades que se desarrollan en un lugar, de igual forma se puede plantear las diferentes relaciones entre los actores y factores encontrados (Sabino, 2013), para esto se establece la siguiente metodología, la cual se desarrolla en tres fases:

### **10.1FASE 1-DIAGNÓSTICO**

Consiste en realizar una identificación de los procesos productivos de la Finca Los Pomos, mediante visitas de reconocimiento del lugar, encuesta (ver Anexo A), observación y registro

fotográfico; así mismo reconocer la red hídrica de cuerpos de agua superficial, que nacen o atraviesan el predio y los diferentes impactos generados sobre los recursos hídricos; de este modo se pueda proporcionar bases suficientes para identificar los principales impactos ambientales generados en la finca Los Pomos. De igual forma determinar la secuencia o la forma como se vierte el agua doméstica residual en los cuerpos de agua superficial, el número de habitantes de la casa y la estructura de acueducto de la vivienda.

## **10.2 FASE 2- PROCESO DE DOCUMENTACIÓN E INVESTIGACIÓN**

Teniendo claro los principales impactos ambientales generados en el recurso hídrico y teniendo en cuenta la pregunta ¿Qué acciones o estrategias se pueden implementar en la finca Los pomos, para mitigar el impacto ambiental generado por el estiércol porcino y las aguas servidas de la vivienda en las fuentes hídricas? se procede inicialmente a investigar sobre la normatividad ambiental vigente correspondiente al tema de manejo de aguas residuales domésticas de acuerdo con lo descrito en el marco teórico, se busca en la bibliografía existente, las tecnologías más apropiadas a implementar, los tipos de sistemas sépticos, su operación, los costos de implementación, el tiempo de vida útil, manejo de sus productos, proveedores y eficiencias.

Para el tratamiento de aguas residuales domésticas, se encuentra un proveedor con más de 30 años en el mercado el cual ofrece dos tipos de tecnologías sistema séptico tipo Imhoff y un

sistema séptico integrado; en este sentido se realiza una comparación de características para así elegir la mejor opción Tabla 11.

Tabla 13 Comparativo sistema séptico Imhoff Vs Sistema Séptico Integrado

<b>Sistema Séptico</b>	<b>Imhoff de 2000L</b>	<b>Integrado de 2000 L</b>
<b>Material</b>	Polietileno de alta densidad	Polietileno de alta densidad
<b>Limpieza</b>	Cada 8 meses	Cada 18 meses
<b>Adecuación del terreno</b>	requiere de tres cárcavas para su instalación	requiere solo 2 cárcavas
<b>Instalación</b>	Requiere mayor número de accesorios por ser tanques separados, por lo general requiere de tapas en concreto para proteger las tapas de los tanques, necesita de gran precisión para que las tapas, tubos y conexiones queden bien ajustados sin fugas	No requiere gran número de accesorios para el acople de las partes, de tapas de protección en concreto, no tiene riesgo de inundación por lluvias o alto nivel freático ya que posee una sola tapa resistente y sellada
<b>Costos</b>	\$ 2.336.110	\$ 2.155.422
<b>Vida útil</b>	30 años	30 años
<b>Ensamble</b>	Requiere de tornillos para el ensamble de las tapas, lo que prolonga el tiempo	No requiere de tornillos, para su ensamble



---

de instalación

---

Fuente: Rotoplast, 2016

De acuerdo a las características mostradas en la tabla anterior, se propone un sistema séptico Integrado, ya que es más económico, requiere solo una excavación para su instalación, cuenta con pocos accesorios para su ensamble es de fácil transporte y mantenimiento.



*Figura 20* Visita a punto de venta, proveedora de dispositivos para el almacenamiento y tratamiento de agua potable y residual.

Fuente: El Autor

### **10.3 FASE 3. ELABORAR PROPUESTA DEL SISTEMA SÉPTICO INTEGRADO**

### **10.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA, GENERALIDADES CLIMÁTICAS Y TOPOGRÁFICAS.**

Con el propósito de reducir la carga contaminante por el vertimiento directo de las aguas residuales domésticas al afluente “Arroyo Bravo” y analizando las distintas tecnologías de tratamiento como son los pozos sépticos convencionales, los sistemas Imhoff y los sistemas sépticos integrados y teniendo en cuenta las características particulares como habitantes de la vivienda, pendiente del terreno, campo de infiltración y niveles de exigencia por parte de la autoridad ambiental, se propone la instalación de un Sistema Séptico Integrado con su respectiva trampa de grasas, este sistema estará ubicado en la finca Los Pomos del Municipio de San Roque de la siguiente forma:

- Trampa de grasas: previamente determinado la profundidad de los desagües, la trampa de grasas se instala entre 3 y 5 m de la vivienda recibiendo solo el desagüe de la cocina.
- Sistema séptico integrado: instalado a 10 m pendiente abajo de la trampa de grasas.

### 10.5 ANÁLISIS TÉCNICO

Se toma como base para el cálculo, 10 habitantes en la vivienda y una contribución de agua residual de 90L/hab/día (CORNARE, 2012) de esta forma el caudal en litros por segundos sería:

$$\frac{90l}{hab} * 10 hab * \frac{1día}{86400seg} = 0,0104 l/seg$$

El total de litros en un día por los 10 habitantes de la vivienda sería:

$$0,0104 \frac{l}{s} * (60 \frac{s}{1min}) * (\frac{60min}{1h}) * (\frac{24h}{1dia}) = 898,56 l/dia$$

Se considera una descarga de agua residual los 30 días de mes y un tiempo de descarga de 12 horas al día con tipo de flujo intermitente.

El sistema séptico integrado posee una capacidad de 2000 L, para un tiempo de retención de 24 horas, este sistema consiste en tanques cilíndricos integrados horizontales con refuerzo internos, fabricados con polietileno lineal de alta resistencia a los golpes y a los rayos UV, su interior está dividido en cámaras que conforman un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), por ser un sistema integrado y de bajo peso, tan solo 100 Kg aproximadamente es de fácil transporte y fácil instalación, solo requiere de una sola cárcava para ser instalado y no requiere de tuberías o accesorios de acople como si lo requiere los sistemas sépticos tipo Imhof donde el tanque séptico y el tanque de Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) vienen por separado, son de fácil mantenimiento y de color negro para una mayor eficiencia.

## **10.6 FASES DE TRATAMIENTO EN EL SISTEMA SÉPTICO**

Para el buen tratamiento y purificación de las aguas residuales domésticas (ARD), estas deben pasar por cuatro fases fundamentales del sistema séptico, como son (Rotoplast, 2015):

### **10.6.1 Pre-tratamiento.**

Manejo del agua del afluente: El pretratamiento inicia desde el uso del agua en la cocina, baño, sanitarios o lavaderos, es menester, que los habitantes de la vivienda realicen un adecuado uso del agua evitando el lavado con ácidos como blanqueadores o detergentes corrosivos no biodegradables, agro-químicos excedentes de fumigación, combustibles, aceites, etc lleguen al sistema integrado, pues estos destruyen las bacterias las cuales son necesarias para el proceso de biodegradación. Las toallas higiénicas, preservativos y los materiales no biodegradables pueden colmatar el pozo séptico y pueden taponar la tubería y/o el Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA). Se debe evitar la entrada de aguas lluvias, arenas o tierra al sistema.

Trampa de grasas: La trampa de grasas es un pequeño tanque plástico de polietileno lineal 100% virgen, con entrada y salida de 2” y con accesorios instalados de tal forma que las grasas puedan ser retenidas en la superficie por ser más livianas que el agua, evitando así que pasen al tanque séptico. La trampa de grasas solo recibe agua del desagüe de la cocina.



*Figura 21* Trampa de grasas en polietileno lineal color negro

Fuente: (Rotoplast, 2016)

### **10.6.2 Tratamiento, tanque séptico integrado.**

Después de pasar las aguas residuales domésticas provenientes de la cocina por la trampa de grasas, esta se une a las aguas residuales domésticas provenientes de la ducha, sanitario, lavamanos, lavadero y lavadora; y se depositan en la primera cámara o tanque séptico, donde tienen un tiempo de retención de 24 horas aproximadamente, con el fin de que se efectúen procesos bioquímicos y físicos mediante los cuales las bacterias anaerobias contenidas en las aguas negras, descomponen la materia orgánica convirtiéndola en gases, líquidos y sólidos que se separan dentro del tanque séptico por procesos físicos de sedimentación y flotación, formando tres capas bien definidas, en el fondo una capa de lodos, en la superficie una capa flotante de natas y en el intermedio una capa líquida la cual fluye hacia la segunda cámara es decir al tanque de flujo ascendente, esto ocurre a medida que entran las aguas negras. De acuerdo con lo

anterior, es lógico que las capas de lodo en el fondo y de natas en la superficie, vayan aumentándose paulatinamente y por lo tanto se requiere de un mantenimiento cada 18 meses.

La Materia orgánica que se sedimenta sufre un proceso de descomposición anaeróbico y facultativo y se convierte a compuestos y gases más estables como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), sin embargo, de la generación de sulfuro de hidrógeno los olores son mínimos ya que este se mezcla con los metales dando como resultado sulfuros metálicos insolubles.

### **10.6.3 Post-tratamiento, el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA).**

Debido a que en la cámara séptica el porcentaje de eficiencia en la separación de líquidos y sólidos es de tan solo entre un 20 y 40%, se hace necesario hacerle un post - tratamiento con el fin de alcanzar las condiciones requeridas para poder realizar un vertimiento apropiado de las aguas tratadas. Este post tratamiento se logra a través del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) que consiste en un tanque con falso fondo; sobre el falso fondo se deposita un material filtrante llamado rosetón (ver figura 23) el rosetón ofrece una mayor área superficial para que sobre ella se adhieran bacterias anaerobias cuya función es efectuar un filtrado biológico eliminando la mayor parte de la materia orgánica residual. La fase líquida proveniente de la cámara séptica se direcciona hacia el fondo del Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) ascendiendo luego lentamente a través del material filtrante saliendo hacia el exterior por la parte alta del Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA). De este modo se obtiene un efluente con

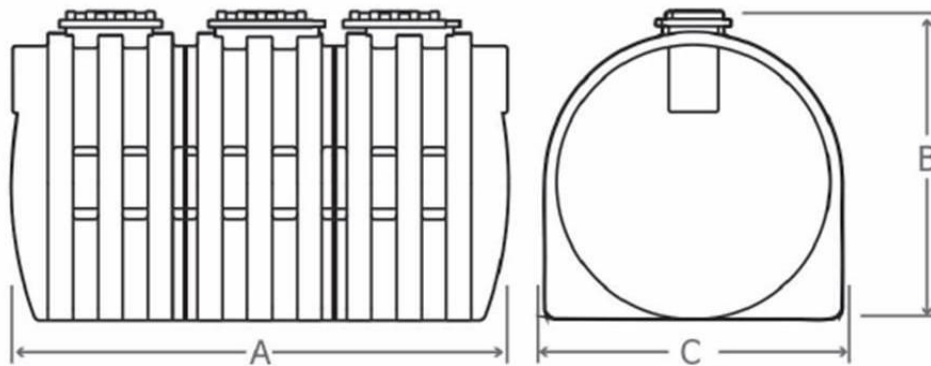
condiciones óptimas para ser vertido por medio del riego a las plantas o distribuirla en el suelo por medio de campos de infiltración ó pozos de absorción.

### Sistema Integrado 2.000 Lts.



*Figura 22* Sistema séptico integrado

Fuente: (Rotoplast, 2015)



*Figura 23* Vista lateral y frontal del sistema séptico

Fuente: (Rotoplast, 2015)



Tabla 14 Dimensiones del biodigestor vertical de cúpula fija

Capacidad Litros	Medidas cm		
	A	B	C
2000	215	125	110

Fuente: (Rotoplast, 2016)

*Figura 24 Rosetón*

Fuente: (Rotoplast, 2016)

#### 10.6.4 Disposición del agua efluente.

El efluente resultante puede verterse en el campo, por medio de riego para sembrados, por medio de campos de infiltración y pozos de absorción en campo.

Para este caso y teniendo en cuenta que el terreno de descarga, es una zona de cultivo, se optará por el campo de infiltración, para el vertimiento del efluente tratado, el cual consiste en un dispositivo en forma de espina de pescado que distribuirá el agua en diferentes direcciones.



*Figura 25* Campo de infiltración espina de pescado.

Fuente: (Biodyne, 2014)

## **10.7 INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA TRAMPA DE GRASAS Y EL SISTEMA SÉPTICO INTEGRADO**

### **10.7.1 Trampa de grasas.**

Inicialmente se instala la trampa de grasas la cual solo recibe las aguas provenientes de la cocina, las aguas del inodoro y de la ducha no deben llevarse a ésta. La trampa de grasas debe quedar enterrada de tal forma que la tapa quede a la vista con el fin de poder hacer las inspecciones rutinarias. Tanto la trampa de grasas debe instalarse en un sitio libre del tránsito de vehículos, animales ò personas de lo contrario es necesario realizar una tapa de concreto para que esta sea protegida. Para el sistema séptico propuesto, la trampa de grasas es un tanque con capacidad de 150 L con un tubo de entrada y salida de 2", el cual tienen las siguientes dimensiones:

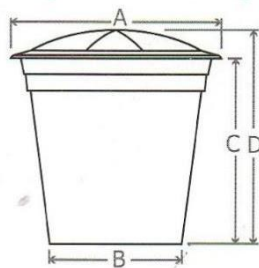


Figura 26 Dimensiones trampa de grasas

Fuente: (Rotoplast, 2016)

Tabla 15 Dimensionamiento Trampa de Grasas

Capacidad <b>L</b>	Medidas cm			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
150	65	40	81	90

Fuente: (Rotoplast, 2016)

### 10.7.2 Sistema séptico integrado.

El sistema séptico, debe instalarse pendiente debajo de la trampa de grasas, en un sitio libre del tránsito de vehículos, animales o personas, para el caso de la finca Los Pomos el sistema séptico se instalará a 10 m aproximadamente de la vivienda, se debe realizar una cárcava de tal forma que entre las paredes del sistema integrado y las paredes de la cárcava quede una luz de 5 a 10 cm. Si el fondo de la cárcava no permite una nivelación adecuada puede ponerse una capa de grava y arena fina.

Seguidamente, se lleva el sistema séptico integrado, hacia la cárcava teniendo en cuenta que quede muy bien nivelado y orientando la entrada y la salida en la dirección que corresponde, luego se colocan los tubos de 4" de entrada y salida no está verificar que el orificio de entrada es el más alto y el de salida el más bajo en el sistema séptico integrado.

Por último, se suministran al filtro los rosetones los cuales favorecerán el área potencial dentro de la cámara filtrante para que se fijen y se formen las colonias de las bacterias. Seguidamente, se llena el sistema séptico con agua y paulatinamente se va rellenando con tierra el espacio que se dejó entre las paredes del tanque y la cárcava, el nivel superior de los tubos de entrada y salida, compactando suavemente. En caso de ser necesario, se construyen vigas de concreto que servirán para evitar que la tierra alrededor del tanque se vaya desmoronando.

Se recomienda dejar el sistema séptico integrado a la vista con sus propias tapas que el borde superior del tanque quede a un mínimo de 20 cm por encima del nivel del suelo, esto evita la entrada de aguas lluvias o inundación del sistema séptico integrado, enterrado como ya se explicó de ser posible rodearlo con un cerco de 80 a 100cm de altura, de tal forma que impida el acceso de niños y animales. Se debe tener en cuenta que el nivel freático nunca deberá estar por encima del nivel de agua del sistema séptico, con esto se evita deformaciones del mismo.

### **10.7.3 Disposición del Efluente (Espina de Pescado).**

La finca Los Pomos cuenta con un área suficiente para realizar la infiltración del efluente en forma de espina de pescado, en este sentido en tubo de salida de 4" se conecta al tubo principal de 4" de la espina de pescado del cual se derivarán 6 tubos de 2" los cuales distribuirán el agua tratada en el campo, este sistema debe tener una pendiente mínima del 2%.

## **10.8 MANTENIMIENTO**

El éxito del funcionamiento del sistema séptico, depende de los propietarios de la finca ya que este debe ser responsablemente manejado y supervisado constantemente.

### **10.8.1 Trampa de Grasas.**

Se debe inspeccionar constantemente el tanque con el propósito de prevenir el paso de grasas al tanque séptico y cada tres meses se realiza su limpieza, el cual consiste en extraer con una pala, toda la grasa flotante y luego todos los residuos alimenticios que se han depositado en el fondo. El extraído debe depositarse en un hueco al que previamente se le esparce cal en el fondo y en las paredes, se le esparce cal a la grasa y se tapa nuevamente el hueco con la tierra que fue extraída.

### **10.8.2 Cámara Séptica**

Una de las principales ventajas que presenta el sistema séptico integrado, es que solo necesita inspeccionarse cada 8 meses, esto con el propósito de determinar cuándo se debe extraer el lodo del fondo y la nata superficial. Al inspeccionar la cámara séptica se requiere de una vara de 2 m aproximadamente y forrarla en un extremo con una toalla o tela preferiblemente blanco, la vara con la punta forrada se introduce lentamente hasta tocar el fondo del tanque, se deja 3 ò 4 minutos y se retira suavemente y se mide la altura que alcanza el lodo en la tela, esto nos muestra la profundidad de los lodos acumulados en la cámara séptica.

La cámara séptica, necesita la limpieza cuando la profundidad de los lodos sobrepasa los 30 cm, una forma de extraer las natas y los lodos es con un cucharón utilizando una vara de 150 a 200 cm de longitud y una coca metálica o plástica de 20 a 30 cm de diámetro y 5 a 15 cm de profundidad. Se retiran cuidadosamente con el cucharón las natas y se vierten en un hueco previamente hecho con cal en el fondo en las paredes.

Es fundamental dejar una capa de lodos de unos 10 cm ya que estos contienen las bacterias que se necesitan para que continúe el proceso biológico del sistema séptico, los lodos depositados en el hueco pueden servir como abono si se dejan reposar durante unos 30 días.

### **10.8.3 Cámara de Filtro Anaerobio De Flujo Ascendente (FAFA)**

La cámara de filtros anaerobios, debe vigilarse periódicamente para su adecuado funcionamiento, por lo mínimo cada 4 meses, en la inspección se debe observar el nivel del agua de la cámara, si la tubería de salida del agua de la cámara séptica está sumergida en el agua es

porque el Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) esta colmatado (taponado) y requiere mantenimiento.

Limpieza del filtro anaerobio, consiste en extraer el agua del filtro a través de una motobomba de bajo caudal y presión o con una manguera haciendo diferencia de nivel (efecto sifón). Luego se debe llenar el tanque con agua que tenga 1 kilo de cal disuelta y dejar reposar por varias horas. Se extrae el agua con cal por bombeo, adicionando agua limpia sobre el filtro hasta que el efluente salga casi limpio. Colocar el tapón y poner el sistema en funcionamiento.

#### **10.8.4 Ventajas de los Sistemas Sépticos Integrados**

- No requieren tornillos para su ensamble, como los sistemas Imhoff.
- Son reforzados y se pueden enterrar completamente dejando a la vista la tapa de inspección.
- Fabricados con polietileno lineal de alta resistencia al impacto 100% virgen.
- Se puede caminar sobre ellos sin que se deforme la tapa.
- No se biodegradan.
- Fáciles de instalar y más económicos que los tanques en otros materiales.
- Por su peso son fácilmente transportables.
- La materia prima posee el aditivo UV el cual protege el sistema de los rayos ultravioleta.
- Un sistema se puede instalar en un día, máximo dos.

- Los efectos catastróficos de la naturaleza como sismos y temblores, no los rajan ya que son flexibles y modulares
- La flexibilidad en la operación, arranque y estabilización, que lo colocan en ventaja con respecto a otros tipos de sistemas.

### **10.8.5 Control de Olores**

Dado el caudal a tratar, se considera que la mejor alternativa para el manejo de los posibles olores ofensivos generados en el proceso de purificación del agua residual, puede hacerse de la mejor forma con el sistema séptico integrado ya que este es un sistema que como su nombre lo indica, integra la parte séptica y el Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) en un solo dispositivo, evitando la fuga de olores ofensivos por mal ensamble de tapas, como si puede ocurrir en un sistema Imhof o un tanque séptico convencional. Adicional a esto, la implementación de estrictas rutinas de mantenimiento, las prácticas de ahorro y uso eficiente del agua, evitar el desecho de toallas higiénicas, garantizar los tiempos de retención hidráulica establecidos y el flujo libre del líquido (CORNARE, 2012).

## **10.9 ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

La instalación de un sistema séptico integrado trae gran beneficio económico ya que este, tiene un tiempo de vida útil de 30 años, lo cual representa un ahorro proyectado a largo tiempo para los propietarios ya que no requiere ser cambiado en el corto tiempo, el funcionamiento del



sistema séptico no requiere de personal calificado y el mantenimiento lo puede realizar el mismo propietario de la finca sin mayor dificultad, el efluente tratado servirá como agua de infiltración para un campo a sembrar con pastos.

En este mismo sentido, se cumplirá con la normatividad ambiental vigente correspondiente a parámetros establecidos de vertimiento de aguas residuales domesticas (ARD), lo cual evitará posibles multas o sanciones por parte de la autoridad ambiental en este caso CORNARE.

Los costos de instalación del sistema séptico integrado, están sujetos a la compra del sistema séptico y accesorios, transporte, requerimientos de mano de obra para la adecuación del terreno y acople de tuberías entre tuberías de la vivienda, con la trampa de grasas y con el sistema séptico integrado, los costos se explican en la siguiente tabla:

Tabla 16 Presupuesto tentativo para la instalación del sistema séptico integrado.

<b>Presupuesta de Instalación de un sistema séptico integrado para la Finca Los Pomos San Roque Antioquia</b>						
<b>Concepto</b>	<b>Unidad/jornales</b>	<b>Dedicación</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>	
<b>1. Personal Técnico para abrir cárcavas y brechas para instalación</b>						
Tecnólogo Asesor para adecuación e instalación del Terreno	2	100%	1	\$80.000	\$160.000	
Obreros para las cárcavas (incluye herramientas)	2	100%	1,00	\$40.000	\$80.000	
Plomero para acople e instalación del sistema séptico completo (incluye herramientas)	1	100%	1,00	\$60.000	\$60.000	

<b>Subtotal 1. Personal técnico</b>				<b>\$ 300.000</b>
<b>2. Sistema séptico integrado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
Sistema séptico integrado con trampa de grasas		1	\$2.155.42	\$2.155.422
Tee de 2"		2	\$2.300	\$4.600
Tee de 4"		2	\$6.800	\$13.600
Tubería 2"	metro	3	\$5.500	\$16.500
Tubería 4 "	Metro	10	\$11.000	\$110.000
Codos CXC de 4" de 30 cm		2	\$5.500	\$11.000
Tapón de registro de 4"		2	\$8.500	\$17.000
<b>Subtotal 2. Compra de Sistema Séptico Integrado y accesorios</b>				<b>\$ 2.328.122</b>
<b>3. Transporte sistema séptico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Transporte Medellín-San Roque	1	1	\$300.000	\$300.000
<b>3.Subtotal Transporte</b>				<b>\$300.000</b>
<b>Total con IVA incluido</b>				<b>2.928.122.</b>

Fuente: El Autor

## 10.10 ANÁLISIS SOCIAL

Teniendo en cuenta, que el agua es un bien común, el sistema séptico integrado es una alternativa ecológica y sustentable que garantiza el buen uso de las aguas residuales domésticas, lo cual permite crear en el campesino una cultura ecológica y de protección al medio ambiente, al no contaminar las fuentes de agua como es el caso de la fuente "Arroyo Bravo" donde son vertidas estas aguas. Representa un modelo a seguir por muchos campesinos de la zona que aún no cuentan con un sistema séptico para tratar las aguas residuales domésticas ARD.

### 10.11 ANÁLISIS AMBIENTAL

Los vertimientos que se generan en las actividades domésticas y propias del metabolismo humano en las viviendas habitadas, contienen una buena carga de materia orgánica y otros componentes como lo especifica el RAS 2000.

Tabla 17 Aportes per cápita para aguas residuales domésticas

<b>Parámetro</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Valor Sugerido</b>
DBO <sub>5</sub> 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 Kjeldahi total como N g/hab/día	9,3-13,7	12
Coliformes totales, N°/hab/día	2x10 <sup>8</sup> -2x10 <sup>11</sup>	2x10 <sup>11</sup>
Salmonella Sp. N°/hab/día	N.A	1x10 <sup>11</sup>
Nematodos Intes N°/hab/día	N.A	4x10 <sup>11</sup>

Fuente: (CORNARE, 2012)

En este sentido, los sistemas sépticos o pozos sépticos son una alternativa eco-sostenible donde por medio de procesos físicos y biológicos se remueve hasta un 85% de demanda biológica de oxígeno DBO<sub>5</sub> y sólidos totales en suspensiones SST de la carga de contaminante,

que evitara la eutrofización de los ecosistemas acuáticos, prolongando la vida de los mismos y beneficiando a los organismos que se surten de él.

De igual forma, se evita la emisión de gases de efecto invernadero creados por la descomposición de la materia orgánica.

La vivienda de la finca, es habitada por 10 personas entre trabajadores y habitantes propios de la casa, no cuenta con un sistema receptor de aguas residuales domésticas, por lo que estas son vertidas directamente y sin tratamiento alguno, al afluyente arroyo bravo, aunque aparentemente se conserva características de transparencia, buen olor y aspecto natural limpio; el vertimiento permanente representa una afectación ambiental, lo cual debe ser responsablemente asumido de acuerdo a la normatividad vigente.

#### **10.12 RECOMENDACIONES**

- Para que un sistema séptico integrado tenga un excelente funcionamiento, se debe principalmente dar un buen uso de las aguas que van a ir al sistema, siguiendo las instrucciones del proveedor o del asesor de instalación.
- Implementar prácticas de ahorro y uso eficiente del agua, también ayuda a la conservación del sistema séptico, prolongando su vida útil.

- Para iniciar el Filtro anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) es recomendable suministrar lodos activados, de lo contrario heces animales de vaca o caballo; esto con el propósito de que el funcionamiento del filtro se establezca lo más pronto posible.

### **10.13 DISCUSIÓN**

A partir de lo encontrado en la finca Los Pomos referente al vertimiento directo de las aguas residuales domésticas a la fuente de agua superficial “Arroyo Bravo” y de la bibliografía consultada concerniente a los sistemas o pozos sépticos existentes para el tratamiento del agua residual doméstica, se evidencia una amplia gama de nuevos materiales diferentes al concreto que están a la vanguardia con los temas de la ecosostenibilidad; en este sentido los sistemas sépticos de polietileno son una alternativa de larga duración, de fácil transporte, diseños de fácil instalación y mantenimiento para muchas viviendas campesinas, en Colombia.

En este caso el sistema séptico integrado permite el tratamiento del agua de forma sencilla y amigable con el medio ambiente, en el sentido de que se puede reutilizar el agua tratada en áreas de sembrado cercanas a la vivienda de la finca Los Pomos.

## **11. CONCLUSIONES**

- Los efluentes de la Finca Los Pomos están compuestos principalmente de materia orgánica y biodegradable, que debido a su alta concentración pueden alterar ecosistemas acuáticos, más precisamente la Quebrada La Floresta. Es por ello que se hace necesario la implementación de un sistema de tratamiento biológico.
- Gracias a la implementación de este sistema biodigestor, se disminuirá la deforestación sobre las áreas boscosas, para la obtención de leña para cocinar y por ende se disminuye las emisiones de gases contaminantes que perjudican la salud del campesino y la atmósfera; así mismo, el sistema biodigestor representa un ahorro en consumo de energía eléctrica lo cual, a largo plazo, se verá reflejado en la recuperación de la inversión del sistema.
- Con la implementación de ambos sistemas, se conservarán las fuentes hídricas, y se fomentara más el turismo de la quebrada San Juan, así mismo si la autoridad ambiental en este caso CORNARE fuese a medir parámetros en calidad de agua en los puntos de vertimiento, deben de estar bajo los valores permitidos por la normatividad ambiental vigente y evitar una posible sanción por esta entidad.
- Este predio puede obtener una certificación de buen manejo ambiental de sus procesos productivos por parte de CORNARE y la administración municipal, siendo un modelo a seguir para otros porcicultores, vecinos.

- No verter directamente las aguas servidas, beneficia la fauna acuática ya que permite mayor oxígeno, menos sólidos disueltos y mejor calidad del agua.
- La asociación nacional de porcicultores tiene predilección por los procesos de producción porcino, ambientalmente sostenibles, es por ello que la finca Los Pomos generaría mayor competitividad y preferencia por esta asociación.

## **12. RECOMENDACIONES GENERALES**

- Este tipo de sistemas implican mantenimiento periódico el cual garantiza el funcionamiento permanente del sistema, se recomienda a los propietarios de la finca la

adecuación de las porquerizas en lo posible la construcción de paredes y pisos en concreto considerando una pendiente apropiada en el piso para el direccionamiento de las aguas al lavar los corrales, las zanjas también deben ser acondicionadas para que estas vayan dirigidas al biodigestor.

- Es necesario tener en cuenta que debe realizar un acondicionamiento de las tuberías de la cocina, unidad sanitaria, y lavadero con el propósito que todas las aguas servidas sean dirigidas al sistema séptico; de igual forma se recomienda el uso de detergentes biodegradables los cuales ayudan a la conservación de las bacterias anaeróbicas en la cámara séptica.
- Arborizar nacimientos y márgenes de cauces hídricos, con la vegetación apropiada para la recuperación y conservación de las fuentes hídricas.
- Buscar el asesoramiento y patrocinio, para la instalación de estos dispositivos con la UMATA del Municipio de San Roque ò con CORANTIOQUIA y buscar la financiación de los sistemas como tal; de ser posible participar de los programas ambientales que dispone la administración municipal para los campesinos de la vereda.

### **13. BIBLIOGRAFÍA**



Acosta, J., Agudelo, J., Cuartas, J., Muñoz, J., & Salgado, S. (2014). *Biodigestores de Gas Metano Zona Urbana y Rural Municipio del Cerrito Valle del Cauca*. Recuperado de: [https://issuu.com/biodigestoress.a/docs/biodegestor-corregido-por-sena\\_\\_2\\_](https://issuu.com/biodigestoress.a/docs/biodegestor-corregido-por-sena__2_).

Asociación Colombiana de Porcicultores, Fondo Nacional de La Porcicultura. (2014). *Informe de Los Proyectos de Inversión*. Recuperado de: <https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/images/porcicultores/quees/Informe2014.pdf>

Biodyne. (2014). *Manual de Pozos sépticos*. Recuperado de: [http://www.biodyne-bogota.com/Manual\\_de\\_Pozo\\_Septico\\_by\\_Biodyne.pdf](http://www.biodyne-bogota.com/Manual_de_Pozo_Septico_by_Biodyne.pdf)

Bonmatí, A., & Magri, A. (2007). Tecnologías Aplicables en el Tratamiento de las Deyecciones Ganaderas: Un elemento Clave Para Mejorar su Gestión. *Residuos ganaderos*. 46-69.

Campos, B (2011). Metodología para la determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 20(2) 37-41.

Carpas Plásticas Industriales IKL. (2016). *Biodigestor Tubular*. Recuperado de: <http://www.carpasikl.com/agroindustrial.html>

Casquete, A., & Choez, I. (2014). *Slide Share*. RecuperadodeContaminación Hídrica por Aguas Residuales. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/IngridciitaChezAlava/aguas-residuales-domsticas-e-industriales>

Cendales, E., Jiménez, S. (2014). Modelamiento computacional de la producción de energía renovable a partir del biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino. *Revista EAN*. 77, 42-63.

Cervantes, F., Saldivar, J., & Jescas, J. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(1) 3-12.

Cervantes, F. (2008). Reducción de colorantes azo por distintos grupos microbianos en consorcios anaerobios. *Biotecnología*. 12(3) 6-20.

CORNARE. (2012). *Resolución 112-3598 del 30 de agosto de 2012*. Recuperado de: [https://www.cornare.gov.co/boletin\\_oficial/2012/Octubre/Res/112-3598-2012.pdf](https://www.cornare.gov.co/boletin_oficial/2012/Octubre/Res/112-3598-2012.pdf)

Cuchillo, O. (2016). Los biodigestores, importancia y beneficios. Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios/>

Emison. (2015). *Producción tipo de Biogás*. Recuperado de: <http://www.emison.com/produccion%20biogas.htm>

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2011). *Manual de biogás*. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

García, H., Corredor, A., Calderón, L., & Gómez, M. (Octubre de 2013). *Análisis costo Beneficio de Energías Renovables no Convencionales en Colombia*. Recuperado de: <http://www.ac-cc.com/catalogos/ACyCC%20Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf>

Gobernación de Antioquia. (2014). *Anuario estadístico de Antioquia*. Recuperado de: <http://antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO%202014/es-CO/capitulos/ambiente/hidrometeorologia/cp-2-2-4.html>

Godfrey., A. (2008). Explotación lechera y biogás en el distrito de Rungwe, suroeste de Tanzania: estudio de oportunidades y limitaciones. *Revista ELSEVIER*. 12(8) 2240-2252.

- Gonzabay, A., & Suárez, P. (2016). *Diseño y construcción de un biodigestor anaerobio vertical semicontinuo para la obtención de gas metano y biol a partir de las cáscaras de naranja y mango*. (Trabajo de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- González, D. (2011). Diseño y fabricación de un prototipo para la obtención de biogás. Recuperado de:  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2281/Tesis.pdf?sequence=1>
- Guardado, J. (2013). Tecnologías del Biogás. Recuperado de:  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm>
- Huerga, I., Butti, M., & Venturelli, L. (2014). Biodigestores de pequeña escala. Un análisis práctico sobre su factibilidad. Recuperado de: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (2007). Resolución 002640 – Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano.
- Jaimovich., Acevedo., Badell., Cerdá., Hardoy., & Vallarino, (2015). Tratamiento de residuos cloacales con biodigestores. Recuperado de:  
[http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini\\_2015/trabajos/A047\\_COINI2015.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/A047_COINI2015.pdf)
- Lizarazo, J., & Orjuela, M. (2013). Sistemas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. (Tesis de Especialización). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Mariscal, M. (2007). Capítulo 7. Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de las granjas porcícolas. (FAO). Recuperado de: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/00-produccion\\_porcina\\_general/63-excretas\\_cerdos.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_general/63-excretas_cerdos.pdf)

- Márquez, E. (2008). Alternativas de recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas para pequeñas comunidades en el departamento de Sucre. (Tesis de pregrado). Universidad de Sucre, Sincelejo, Colombia.
- Martin, A. (2014). El tratamiento de aguas residuales en Colombia. [Web Log Post]. Recuperado de: <https://twenergy.com/co/a/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-colombia-1142>
- Menéndez, A. (2016). *El Agua Como un Ben Juridico, El Derecho Humano al Agua*. Recuperado de: <https://www.uam.es/otros/afduam/pdf/16/AngelMenendezRexach.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente-Ley 2811 de 1974. Recuperado de: <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones- Resolución 0631. Recuperado de: <http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/7bf35b9e-b9ac-45b3-a280-c7dec8b1499d/Resolucion+631-2015.pdf?MOD=AJPERES>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1977). Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto Ley No. 2811 de 1974 - Decreto 1447 del 1977. Recuperado de: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/35-dec\\_1449\\_1977.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/35-dec_1449_1977.pdf)
- Morales & Mejía. (2015). *Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua-mucílago de café obtenidas por desmucilagador mecánico*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia.
- Olaya, Y., & González, L. (2009). Fundamentos para el Diseño de Biodigestores. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

- Orduña, A. (2012) Biodigestor de campana flotante. Recuperado de:  
<http://biodigestores2012.blogspot.com/2012/11/tipos-de-biodigestores.html>
- Pinos, J., García, J., Peña, L., Rendón, J., González, C., & Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiercol generado por sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4).
- Rosales, E. (2005). Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones. *Revista Tecnología en Marcha*. 18(2) 26-33.
- Rotoplast. (2015). Sistema Séptico Imhoff Cónico Esférico. Recuperado de:  
<http://www.rotoplast.com.co/sistema-septico-integrado/>
- Rotoplast. (2016). Biodigestor. Recuperado de:  
<https://es.pinterest.com/pin/446911963012777022/>
- Varnero, M. (2011). *Manual del biogás*. Recuperado de:  
<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Villegas, M., & Vidal, E. (2009). *Gestión de los Procesos de descontaminación de aguas residuales domesticas de tipo rural en Colombia*. (Tesis de posgrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia.

## 14. ANEXOS

### 14.1 ANEXO A

## Anexo 1 Encuesta a los propietarios de la finca Los Pomos

Encuesta realizada a los propietarios de la Finca Los Pomos del Municipio de San Roque						
	Fecha	Día		Mes	Años	
1	Área de la finca					
2	Qué tipo de actividades productivas realizan en la finca?					
3	Que productos cultivan en la finca?					
4	Cómo están distribuidos internamente los cultivos?					
5	Qué tipo de fuentes hídricas nacen o atraviesan la finca?					
6	Como considera usted el estado de las fuentes hídricas de la finca?					
7	Realizan alguna actividad de aprovechamiento de residuos orgánicos?					
8	Número de personas que habitan la vivienda?					
9	Número de trabajadores de la finca?					
10	Ha sido requerido por las autoridades ambientales por el manejo de excretas y de las ARD?					
11	Estaría dispuesto a implementar sistemas para el manejo de las excretas porcinas y de las ARD?					
12	¿Participa de los programas de educación ambiental y agrícola que ofrece los entes gubernamentales?					