



# **DISEÑO DE SISTEMA LOGÍSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.**

**JULIÁN DAVID ANTORVEZA GIL  
LAURA VALENTINA ARIZA GUZMÁN  
JOHAN FRANCOIS BERNAL ROMERO  
HENRY DUVAN LÓPEZ GARCÍA**

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Ambiental y Química  
Bogotá, Colombia  
2020

# DISEÑO DE SISTEMA LOGÍSTICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

**JULIÁN DAVID ANTORVEZA GIL**  
**LAURA VALENTINA ARIZA GUZMÁN**  
**JOHAN FRANCOIS BERNAL ROMERO**  
**HENRY DUVAN LÓPEZ GARCÍA**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Ingeniero (a) Ambiental**

**Ingeniero Químico**

**Director (a):**

Camilo Mejía Moncayo

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Ambiental y Química  
Bogotá, Colombia  
2020

# RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema logístico para la recolección, transporte y almacenamiento de residuos pecuarios en granjas tecnificadas y traspatio de 9 diferentes municipios de Cundinamarca, para su aprovechamiento final en la producción de biogás y energía. Al ser Colombia un país agroindustrial, produce una elevada cantidad de desechos sólidos que, sin un correcto tratamiento, son nocivos para el medio ambiente y la salud humana.

Los residuos provenientes del sector porcino pueden ser aprovechados para la generación de biogás, para ello se diseñó un sistema logístico que permitiera el aprovechamiento máximo de los residuos sólidos teniendo en cuenta las restricciones presentes, como costos operacionales, cantidad de biomasa disponible, tiempo de entrega, lugar de almacenamiento, disponibilidad de información.

El proyecto no solo permite la recolección de toneladas de residuos diarios, también la disminución de gases de efecto invernadero, la contaminación del suelo, aire y fuentes hídricas y la generación de empleo.

**Palabras clave:** Residuos Sólidos, Transporte, Almacenamiento, Recolección, Biogás,

## ABSTRACT

The following work consists in the design of a logistical system for the collection, transport, and storage of livestock residues in highly technological and backyard farms in 9 different towns in Cundinamarca, for its final use in biogas and energy production. Colombia is an agro-industrial country, it produces a high number of solid residues that without correct treatment, are damaging not only the environment but human health.

The pig industry residues could be used as a biogas and energy generator, that's the reason why we designed a logistical system that allows the maximum use of the solid waste considering restrictions, such as operational costs, amount of biomass available, delivery time, storage location, information's availability.

The project, either way, allows collecting solid waste tons and cutting down greenhouse gases, soil pollution, air pollution, and water pollutions, and the generation of employment.

**Key words:** livestock/pig residues, transport, storage, collection, biogas.

# Tabla de contenido

1.	Introducción	9
2.	Objetivos	12
2.1.	Objetivo general	12
2.1.	Objetivos Específicos	12
3.	Identificación del problema	13
4.	Análisis de requerimientos o especificaciones del producto	15
4.1.	Introducción de los requerimientos	15
4.2.	Descripción de los requerimientos	15
4.2.1.	Recolección eficiente y disminución de residuos	15
4.2.2.	Almacenamiento que conserve las características de los desechos	16
4.2.3.	Sostenibilidad para cada uno de los procesos y disminución de los impactos	16
4.2.4.	Transporte optimizado	16
4.2.5.	Procesamiento	16
4.3.	Descripción de los desempeños esperados para el diseño del proyecto	17
4.3.1.	Recolección del 60 % de los residuos en cada municipio	17
4.3.2.	Almacenamiento de la totalidad de residuos recolectados	17
4.3.3.	Sostenibilidad presente con fuerza en cada uno de los demás requerimientos	17
4.3.4.	Uso de 20 camiones para el transporte de materia	18
4.3.5.	Procesamiento Final	18
4.4.	Entradas y salidas del sistema logístico	18
4.4.1.	Recolección	19
4.4.2.	Almacenamiento	19
4.4.2.	Sostenibilidad	20
4.4.3.	Transporte	20
4.4.5.	Proceso Final	20
5.	Marco de referencia	21
5.1.	Marco teórico	21
5.2.	Marco de referencia	23
5.3.	Normatividad	23
6.	Análisis de restricciones	25
6.1.	Restricciones que impiden el desarrollo del proyecto	25

6.2. Posibles restricciones futuras para el desarrollo de las actividades del sistema y planta ya como proyecto establecido y en funcionamiento.....	25
7. Alternativa de solución .....	27
7.1. Posibles soluciones.....	27
7.2. Mejor alternativa seleccionada .....	28
8. Especificaciones de ingeniería para la solución y el dimensionamiento los componentes. 29	
8.1. Recolección .....	29
8.2. Almacenamiento.....	31
8.3. Transporte .....	31
8.4. Características de los residuos.....	34
9. Análisis de costos del diseño .....	37
10. Prototipado o diseño conceptual .....	38
11. Conclusiones y recomendaciones.....	40
12. Referencias .....	41

# Lista de figuras

<b>Ilustración 1.</b> Esquema básico de la producción de biogás .....	10
<b>Ilustración 2.</b> Árbol de Problema.....	13
<b>Ilustración 3.</b> Recolección Residuos.....	29
<b>Ilustración 4.</b> Transporte de Residuos.....	30
<b>Ilustración 5.</b> Almacenamiento de Residuos. ....	31
<b>Ilustración 6.</b> Ruta Municipios Junín, Gama, Gachalá. ....	31
<b>Ilustración 7.</b> Ruta Municipios Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguzaque. ....	32
<b>Ilustración 8.</b> Ruta Municipios Viotá, Anapoima, La Mesa, El Colegio. ....	33
<b>Ilustración 9.</b> Diagrama Prototipo Final .....	39

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Entradas y salidas del proceso .....	18
<b>Tabla 2.</b> Alternativas de solución. ....	27
<b>Tabla 3.</b> Características del recorrido entre Junín, Gama y Gachalá. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Características del recorrido entre Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque. ....	33
<b>Tabla 5.</b> Características del recorrido entre Viotá, Anapoima, La Mesa, El Colegio. ....	34
<b>Tabla 6.</b> Características de los Residuos .....	34
<b>Tabla 7.</b> Ficha Técnica Energía. ....	36
<b>Tabla 8.</b> Ficha Técnica Social. ....	36
<b>Tabla 9.</b> Predios Disponibles. ....	37
<b>Tabla 10.</b> Análisis de Costos. ....	38

# 1. Introducción

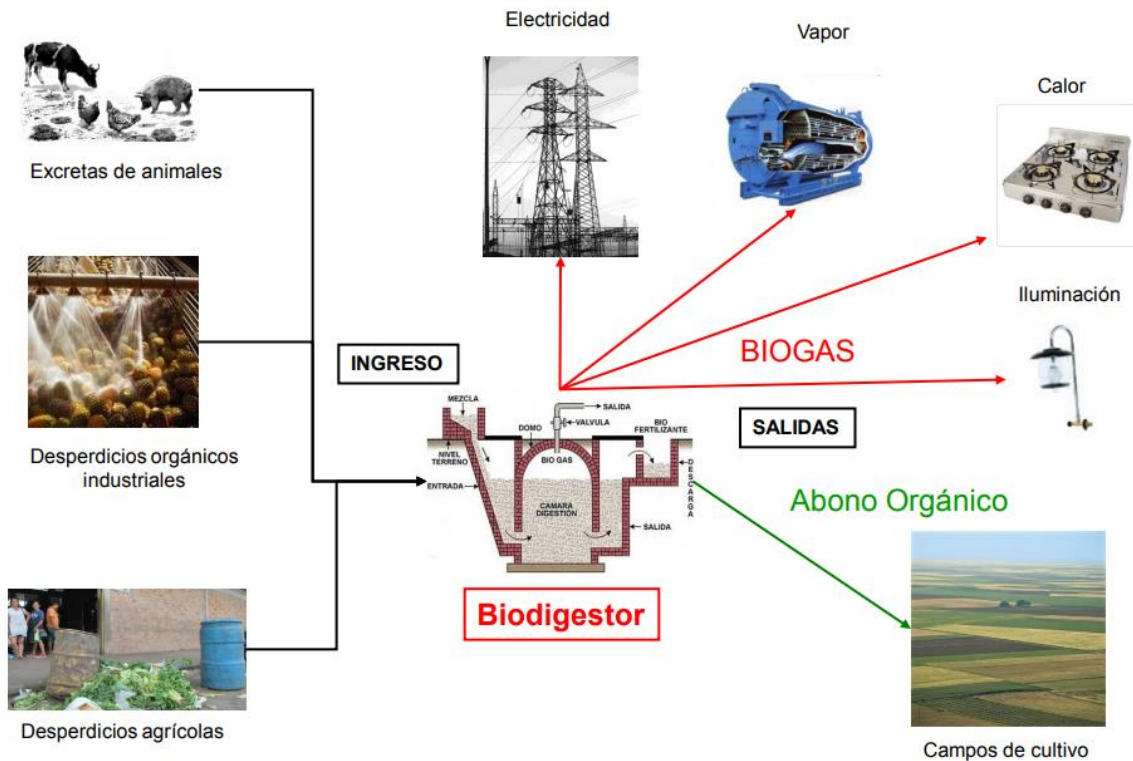
Actualmente el agotamiento de los combustibles fósiles, el calentamiento global, la contaminación ambiental y las emanaciones de gases de efecto invernadero, entre otros problemas de escala global, ha tenido efectos negativos de impacto ambiental, término que define el efecto que produce una determinada acción humana sobre el ambiente. Todo esto hace que se busque la necesidad de un cambio en la distribución de nuestra matriz energética hacia el uso de energías menos contaminantes y renovables, es decir obtenidas de fuentes naturales virtualmente inagotables.

Por otro lado, el tema de gestión de residuos se ha vuelto fundamental en lo que al desarrollo sustentable se refiere. Hoy en día, la mayoría de los residuos son depositados en vertederos incontrolados o son incinerados, identificando el poco aprovechamiento que se le hace a los residuos orgánicos o los residuos agrícolas.

La actividad agropecuaria y el adecuado manejo de los residuos sólidos rurales contribuyen a la producción y conversión de residuos animales y vegetales en distintas formas de energía renovable y no convencional. Durante la digestión anaeróbica de la biomasa, se genera el biogás, el cual, está constituido por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Varnero, 2011).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto (Gutiérrez, M. 2016 Servicios Manufactureros).

**Ilustración 1.** Esquema básico de la producción de biogás



**Ilustración 1.** Gutiérrez, M. (2016) Servicios manufactureros.

El adecuado aprovechamiento del metano, proveniente de los residuos pecuarios representa una forma significativa de disminución de emisiones de gases de efecto-invernadero al medio ambiente, como lo menciona el artículo 232 de la ley 09 de 1979 decreta que tanto los desperdicios como los excrementos de los animales deben ser dispuestos de una manera correcta para evitar daños al medio ambiente y sanciones que pueda acarrear el incumplimiento de la normatividad en materia de vertimientos, residuos sólidos, entre otros (Ley 09 de 1979).

La ley 1715 de 2014 que regula la integración de las energías renovables al sistema energético colombiano, establece en el artículo 17, que el gobierno nacional junto con las corporaciones autónomas regionales debe gestionar un plan de aprovechamiento del contenido energético la biomasa orgánica y su potencial como una fuente no convencional de energía renovable (UPME, 2014).

Asimismo, colocar los residuos pecuarios dentro de un biodigestor, representa una opción de importantes ventajas a pequeña, mediana y gran escala, con mecanismos adecuados para el tratamiento y disposición final de estos residuos, que representa la oportunidad de reincorporarlos en forma de energía al proceso.

El objetivo del proyecto consiste en el diseño de un sistema logístico encaminado en la recolección de los residuos fecales provenientes de los cerdos; esta actividad se lleva a cabo dependiendo del dimensionamiento y la cantidad a disponer de los residuos fecales. Luego se almacenan dichos residuos en pozos con unas características específicas para que no haya alteración tanto en las propiedades del residuo fecal como en el medio ambiente. Después se transportan los residuos, bien sean húmedos o secos en camiones con sistema de temperatura frío o ambiente, estos los transportan a plantas de tratamiento donde se hace su debido proceso para la producción de biogás.

Los residuos pecuarios se van a recolectar de diferentes granjas tecnificadas y granjas de traspatio, provenientes de los siguientes municipios del departamento de Cundinamarca que están divididos en tres conjuntos Gachalá, Gama y Junín; Fúquene, Guachetá, Lenguazaque y Ubaté; Anapoima, El Colegio, La Mesa y Viotá.

Este sistema logístico va a permitir que los propietarios de las granjas de los municipios ya mencionados anteriormente tengan desde beneficios económicos por medio de acuerdos, a una contribución con el medio ambiente como por ejemplo en la reducción del agua, disminución de huella de carbono y también que cumplan su respectiva normatividad.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema logístico para la recolección, el manejo, transporte y almacenamiento de residuos pecuarios, para su aprovechamiento en la producción de biogás y energía.

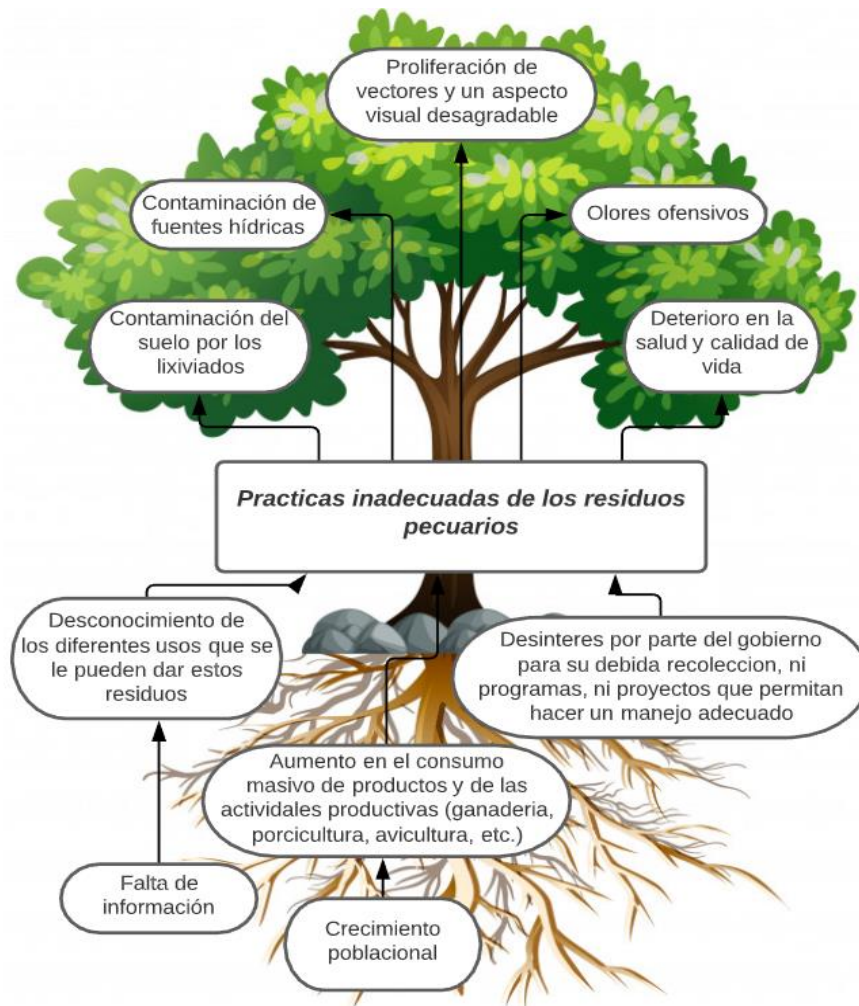
### 2.1. Objetivos Específicos

- Definir las características y desempeños de los requerimientos de almacenamiento, recolección, sostenibilidad y transporte del sistema logístico
- Establecer los requerimientos y especificaciones de los componentes del sistema logístico.
- Identificar y analizar las restricciones y el marco normativo del proceso logístico.
- Generar, evaluar y seleccionar alternativas de diseño para el proceso del sistema logístico.

### 3. Identificación del problema

Los residuos sólidos categorizados principalmente en orgánicos e inorgánicos pueden convertirse en un impedimento para el avance de una sociedad cuando no se realiza una correcta disposición de estos, durante el proceso de descomposición estos suelen generar gases como dióxido y monóxido de carbono, gas metano, ácido sulfhídrico, y compuestos volátiles que producen malos olores, y resultan tóxicos para la salud humana y el medio ambiente, además hacen parte de los gases de efecto invernadero.

**Ilustración 2. Árbol de Problema**



5

**Ilustración 2. Autoría Propia**

Al ser Colombia un país agroindustrial, la cantidad de desechos que se producen de estas actividades es elevada. Si se hace un enfoque solamente en el sector agropecuario hay unos

28.245.262 animales bovinos en el territorio nacional y 6.710.666 cabezas de porcinos (ICA, 2020). Para otros grupos de animales pertenecientes al grupo, el censo aviar fue de 201.600.918, el censo bufalino fue de 338.567 de búfalos, el censo equino fue de 1.584.776, el censo ovino fue de 1.682.767 y el censo caprino fue de 1.034.615 aproximadamente (ICA, 2020). En comparación con el año anterior, en la mayoría de los grupos de animales el número aumentó de acuerdo con el censo realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario en 2020. En relación a lo anterior, se deduce que el incremento de los residuos pecuarios aumentaría de forma paralela con el aumento de animales.

En el año 2014, según la FAO las emisiones procedentes de agricultura, silvicultura y pesca se han casi duplicado en los últimos 50 años y podrían aumentar en un 30 por ciento para el 2050. También mencionan que en Colombia el ganado aporta aproximadamente 1kg de CH<sub>4</sub> por cabeza, al igual que los porcinos. Mientras que las gallinas aportan 0,02kg de CH<sub>4</sub>.

Como respuesta a estos datos, se debe garantizar el transporte y almacenamiento de estas materias desde los lugares de donde son obtenidas hasta el punto de la planta. El plan logístico debe contemplar costos operacionales, cantidad de materia, tiempo de entrega y almacenamiento. Se debe abordar con principios químicos y ambientales que reduzcan el impacto al medio ambiente y aseguren la calidad y el funcionamiento del sistema.

Los residuos pecuarios, producto de las actividades ganaderas, porcinas, avícolas, etc. son una fuente de materia importante para la generación de gases que pueden ser aprovechados con el fin de producir biogás y energía. Este proceso permitirá que los municipios se vean favorecidos a raíz de la disminución de gases de efecto invernadero, de las contaminaciones de los suelos, aire y fuentes hídricas y, además, tendrán energía de forma más efectiva y amigable con el medio ambiente.

Cabe resaltar que el proceso de recolección y almacenamiento es parte primordial de un proyecto del que se espera obtener biomasa y energía en cada uno de los puntos identificados, por lo que los beneficios que se originan en la recolección se incrementarán cuando en esa misma planta donde se almacenen, se produzca electricidad para las mismas comunidades responsables de los desechos. Por ende, el manejo de los residuos tendrá que ser óptimo y deberá adecuarse a las necesidades de la planta de tratamiento de la biomasa, planta que estará en el mismo punto de almacenamiento. La implementación del sistema logístico es vital para que la cadena puede completarse de forma satisfactoria.

Los límites que tendrá el funcionamiento del plan logístico estarán ligados a la cantidad de desechos con los que se va a trabajar, la distancia que habrá entre los puntos de recolección y descarga, el tiempo de transporte y de almacenamiento y las condiciones de operación en los tanques. Cada una de ellas trazará la ruta del plan que se debe seguir.

La pregunta a responder es ¿Cómo trazar una ruta que cumpla los requerimientos del proceso de almacenamiento y entrega de los desechos, en la cual se garantice la seguridad del proceso y la calidad de la materia?

## **4. Análisis de requerimientos o especificaciones del producto**

### **4.1. Introducción de los requerimientos.**

Los requerimientos planteados darán avance al proyecto, serán las bases propuestas para desarrollar todas las actividades de diseño del plan logístico y del manejo de los residuos. La recolección, el almacenamiento y el transporte, serán desarrollados de forma lineal, donde uno recibe características del otro y del que se regirá para su desarrollo. Así mismo, la sostenibilidad cubrirá el trabajo de los demás requerimientos para lograr cumplir con la normatividad y reducir el impacto al medio ambiente sin perder de vista los objetivos del trabajo. Al final, todas las herramientas usadas y los mecanismos servirán para dar un producto, que cumpla con las condiciones necesarias, las cuales son esenciales para la planta de producción.

### **4.2. Descripción de los requerimientos.**

Para la ejecución del sistema logístico se necesitarán desarrollar cinco requerimientos:

#### **4.2.1. Recolección eficiente y disminución de residuos:**

El primero consiste en la recolección de los residuos, tiene estricta relación con el dimensionamiento de los terrenos que se utilizaran, junto con la cantidad disponible y la disposición de los residuos diarios en los terrenos de los municipios seleccionados, es decir, que para que el proyecto sea efectivo y adecuado es ideal contar con un área amplia en la cual se generen los suficientes residuos y suplan la necesidad estimada. Para la eficiencia y la disminución de pérdidas, se debe cumplir con técnicas de recolección que permitan coleccionar la

totalidad o mayoría de residuos sin que quede materia sin recoger o se rieguen o caigan pequeñas cantidades durante el proceso (por ejemplo, durante el barrido de las porquerizas una parte de los desechos puede quedar dentro de la misma o regarse por el ducto de salida)

#### **4.2.2. Almacenamiento que conserve las características de los desechos:**

Es el lugar de depósito de los residuos porcinos, los cuales se almacenarán en pozos de diferentes características como PVC, Tierra, HDPE, Concreto, dependiendo la clasificación del residuo sea seco o húmedo. Dicho almacenamiento debe basarse en la normatividad vigente y en las condiciones de temperatura, pH, filtración que garanticen la calidad de los desechos y no expongan las características ideales para su función en la planta de tratamiento.

#### **4.2.3. Sostenibilidad para cada uno de los procesos y disminución de los impactos:**

Durante la ejecución del sistema logístico es sumamente importante contar con un requerimiento de sostenibilidad el cual debe reflejarse en cada una de las etapas, este está relacionado con todos los requerimientos del proyecto con el fin de disminuir los impactos generados durante su ejecución, para ello, se deben optimizar las cadenas de transporte y almacenamiento y generar un beneficio social y económico en el desarrollo de las etapas del sistema.

#### **4.2.4. Transporte optimizado:**

Es un requerimiento esencial, y para su funcionamiento es fundamental la contratación de un sistema de transporte en el que se tengan camiones amplios, que cumplan con las características para el transporte de los desechos porcinos. Además, que sean capaces de recorrer grandes extensiones de km entre los municipios seleccionados y de cargar grandes cantidades de residuos para que sea un sistema eficaz. Se necesitarán principalmente, vehículos que funcionen a diésel o gasolina que sean idóneos para atravesar las carreteras entre cada municipio, las cuales pueden ser montañosas y con vías destapadas. Para cumplir con la optimización, es necesario trazar rutas que disminuyan tiempos y distancias, recolectar la mayor cantidad de residuos con el menor número de autos, así disminuyendo el gasto y los gases de efecto invernadero como resultado de la combustión de la gasolina o el diésel.

#### **4.2.5. Procesamiento:**

El último requerimiento, para este es necesario el cumplimiento de los otros cuatro requerimientos para su desarrollo, su proceso consiste en la recepción de todos los residuos porcinos, para finalmente lograr la producción de biogás.

#### **4.3. Descripción de los desempeños esperados para el diseño del proyecto.**

En el proyecto se encontraron principalmente los siguientes desempeños para que se impulse su óptimo funcionamiento:

##### **4.3.1. Recolección del 60 % de los residuos en cada municipio:**

Para cumplir con esta actividad, es importante que el área disponible sea apta, que se pueda realizar de forma sencilla y cumpla con los requerimientos mínimos de recolección diaria. También la disposición de los residuos en el sitio, como la separación de residuos entre húmedos y secos para su posterior almacenamiento. Se espera poder lograr la cuota de captación propuesta para determinar el espacio de almacenamiento, cantidad de viajes y una producción de biomasa.

##### **4.3.2. Almacenamiento de la totalidad de residuos recolectados:**

Es fundamental tener en cuenta las características de los pozos de recolección para que tengan un buen desempeño en el proceso logístico. Además, destacar la normatividad que se debe cumplir y al que se debe adherir el proyecto dependiendo el residuo a almacenar (seco o húmedo), y finalmente contar con las condiciones óptimas del establecimiento como su fácil acceso o que tenga algunas lagunas anaerobias de almacenamiento. Lo importante será poder contar con el espacio necesario para almacenar la cantidad de residuos estimada.

##### **4.3.3. Sostenibilidad presente con fuerza en cada uno de los demás requerimientos:**

Se plantea un sistema de gestión de los residuos para mejorar las fases de los procesos haciendo un estudio de las opciones por las que se debería optar en la recolección, almacenamiento, tratamiento de residuos y transporte, pero también, ofreciendo beneficios como el uso tecnologías y procesos limpios que garanticen la seguridad y el bienestar de las personas que estarán presentes en el desarrollo de cada etapa del proyecto.

**4.3.4. Uso de 20 camiones para el transporte de materia:**

Al transportar estos desechos la mejor forma de hacerlo es mantenerlos como, residuos húmedos y para ello, son necesarios los vehículos adaptados para esto como carrotanque, camiones o volquetas que cuenten con temperatura ambiente o congelador para mantener las condiciones del excremento (el uso de tuberías no es viable ya que las distancias entre los municipios son largas, el gasto de energía que se necesitaría para bombear el excremento sería alto y el relieve de las zonas no permite un fácil acceso a estos sistemas), pero además, es importante cumplir y adherirse a la normatividad establecida para este procedimiento.

**4.3.5. Procesamiento Final:**

Los desechos deben ser depositados en los tanques de almacenamiento de la planta, en este proceso es esencial la separación de los mismos, como residuos húmedos o residuos secos, y posterior a esto, la planta se encargará del proceso de descomposición y tratamiento para lograr la producción de biogás.

**4.4. Entradas y salidas del sistema logístico.**

*Tabla 1. Entradas y salidas del proceso*

<b>Requerimientos</b>	<b>Entradas</b>	<b>Salidas</b>
<b>Recolección</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-División del área disponible</li> <li>-Cantidad de animales</li> <li>-Cantidad de excremento</li> <li>-Caudal de agua de entrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Recolección diaria de residuos</li> <li>-Cantidad de desechos</li> <li>-Emisiones de CO, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> a la atmósfera</li> </ul>
<b>Almacenamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sitio de almacenamiento</li> <li>-Condiciones del establecimiento</li> <li>-Recepción de los desechos y cantidad de recepción</li> <li>-Agua usada para adecuación de residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tiempo de acumulación</li> <li>-Cantidad recolectada por pozo</li> <li>-Separación de los residuos</li> <li>-Agua residual recolectada</li> <li>-Emisiones de CO, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> a la atmósfera</li> </ul>

<b>Sostenibilidad</b>	-Presencia en todas las entradas	-Presencia en todas las salidas
<b>Transporte</b>	-Llegada de los vehículos adecuados -Normatividad apropiada para transportar los residuos -Cantidad de combustible usado -Energía utilizada para carga de material	-Descarga de desechos en la planta -Cantidad de viajes realizados -Número de kg de CO <sub>2</sub> expulsados la atmósfera. -Energía utilizada para descarga de material
<b>Proceso Final</b>	-Descarga diaria de excremento húmedo en los tanques de la planta	-Producción

Tabla1. Elaboración propia

#### 4.4.1. Recolección:

Las entradas de este requerimiento están divididas en, la división del área disponible, es decir, el número de m<sup>2</sup> de los terrenos que están siendo utilizados por los animales, y la cantidad de excremento diaria vs la cantidad de animales disponibles en las diferentes granjas. Teniendo en cuenta que la forma de tratamiento de los residuos se realizará en medio acuoso, se tendrá como entrada la cantidad de agua utilizada para adecuación

Para las salidas del requerimiento se encuentra, la recolección diaria de residuos que serían almacenadas en los diferentes tanques o pozos disponibles. Esta salida tiene estricta relación con la entrada inicial del proceso de almacenamiento. Aparta, existe una producción de gases derivada de los procesos naturales que estarán presentes durante el proceso de recolección.

#### 4.4.2. Almacenamiento:

Las entradas en esta etapa del diseño son: sitio del almacenamiento, las características que deben tener los pozos de almacenamiento para que estos residuos porcinos no generen ningún impacto negativo en el ambiente y en la salud humana, las condiciones del establecimiento y sus alrededores, cumpliendo su respectiva normatividad. La cantidad de

material que se recibirá para la disposición en los pozos y el agua que entra en el proceso para la correcta adecuación del material

Las salidas en esta etapa del diseño son: El tiempo de acumulación de los residuos que este no debe superar un determinado tiempo, la cantidad recolectada por pozo y su separación de los residuos si va a ser húmedo o seco. La cantidad de agua residual generada durante el proceso y las emisiones de gas generadas como producto de la descomposición y tratamiento de gases.

#### 4.4.2. **Sostenibilidad:**

Las entradas y salidas estarán ligadas a la de los demás requerimientos, garantizando que se haga lo mejor y que se trabaje bajo la normativa, disminución de la energía y de espacio y tiempo.

#### 4.4.3. **Transporte:**

La entrada del transporte para los residuos húmedos: es la llegada a los puntos de recolección de los vehículos adecuados con sistema de temperatura ambiente o frío que mantengan las condiciones y características del excremento y que cuente con la normatividad adecuada para poder transportarlo. La cantidad de combustible usado para el funcionamiento de los medios de transporte y la energía usada para la carga de los desechos en los camiones.

Las salidas en esta etapa son: la descarga apropiada en los tanques de la planta y la cantidad de viajes que se realizarán a la planta. La cantidad de energía utilizada para la descarga del material en la planta y la generación de CO<sub>2</sub> resultado de la quema de combustible.

#### 4.4.5. **Proceso Final:**

La entrada en este punto del sistema logístico inicia con la etapa final del proceso de transporte, la descarga diaria de excremento húmedo en los tanques de la planta de almacenamiento. Finalmente, con el procesamiento que residuos tienen en la planta, se llega a última salida del proyecto, la producción de biogás, que no estaría a cargo del sistema logístico de transporte y almacenamiento, sino del sistema de proceso y producción.

## 5. Marco de referencia

### 5.1. Marco teórico

- **Almacenamiento:** es una parte de la logística que incluye las actividades relacionadas con el almacén; en concreto, guardar y custodiar existencias que no están en proceso de fabricación, ni de transporte. (Jordi, I. 2019). En nuestro caso, el almacenamiento es la etapa en la que se utilizarán tanques con superficie lisa, rígida, de fácil limpieza y desinfección para almacenar y transportar fácilmente los residuos.

- **Biodigestor:** es un contenedor cerrado de forma hermética que contiene materia orgánica procedente de vegetales y carne en descomposición, y de excremento humano o de animales. Un grupo de microorganismos presentes en los desechos orgánicos producen una reacción conocida como fermentación anaeróbica. (AQUAE, 2019). No se incluye en el sistema logístico que desarrollaremos, sin embargo, es lo que estará presente en la planta para generar biogás.

- **Biogás:** es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno. (Servicios manufactureros, 2018). El proyecto no será el encargado de generar el biogás, pero, brindará a la planta los elementos necesarios para procesar y poder llevar a cabo su producción.

- **Biomasa:** es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptibles de ser aprovechada energéticamente. (Santos, D. 2013). Está será la producción final de energía a partir de los desechos que el sistema logístico ofrecerá a las plantas.

- **Contaminación:** es cuando en un entorno ingresan elementos o sustancias que normalmente no deberían estar en él y que afectan el equilibrio del ecosistema. (EAFIT, 2018). En este caso, se aportará a la reducción de contaminación gracias a que habrá menos excremento en las fincas liberando metano y gases de efecto invernadero a la atmósfera.

- **Digestión anaerobia:** es un proceso biológico, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica de las deyecciones se transforma, por la acción de microorganismos, en una mezcla de gases, constituido principalmente por metano y dióxido de

carbono. (arc-cat, 2017). Este proceso en el proyecto se llevará a cabo en la planta con el fin de dar las características óptimas a los residuos para poder cumplir el objetivo de producir biogás.

- Energías limpias: es un sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación o la gestión mediante la que nos deshacemos de todos los residuos peligrosos para nuestro planeta. Las energías limpias son, entonces, aquellas que no generan residuos. (Custommedia, 2016). En este punto, con el proyecto del sistema logístico se podrá aportar a la generación de energía limpia a partir de los excrementos.
- Granjas tecnificadas: son aquellas en la que se utilizan avances tecnológicos, de manejo, nutrición, sanitarios y genéticos; con un control estricto de animales y personal, así como de medidas sanitarias; el manejo esta preestablecido por día. (Intagri, 2019). Serán las granjas escogidas donde se almacenarán y recogerán los residuos para su uso. Allí, donde hay más presencia de cerdos, es decir, más cantidad de desechos.
- Granjas traspatio: unidades productoras que sirven como alternativa ante la escasez de recursos económicos, humanos y materiales para emprender una industria de producción animal a grande escala. Establecida principalmente en zonas rurales y marginadas. (Neria, G. 2010). Serán las granjas escogidas donde se almacenarán y recogerán los residuos para su uso.
- Residuos sólidos: constituye aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por sí solos carecen de valor económico. (Minambiente, 2019). En este caso, se tienen en cuenta los residuos como jeringas, medicamentos, vitaminas que se generarían a partir del cuidado de los cerdos.
- Residuos pecuarios: son aquellos materiales resultantes de la actividad agrícola y ganadera que son destinados al abono, constituidos fundamentalmente por grandes concentraciones de materia orgánica. (Villareal, G. 2014). Es el más relacionado con nuestro sistema logístico porque es la materia prima principal a utilizar y transportar para la generación de biogás.

## 5.2. Marco de referencia

La universidad EARTH en Costa Rica publicó en 2007 un proyecto, con el objetivo de diseñar e instalar un sistema logístico integrado para aprovechar las excretas de animales para la producción de biogás para la posterior generación de energía eléctrica. El sistema de producción y almacenamiento tomó en cuenta factores de espacio y disponibilidad económica, los resultados fueron los esperados, se utilizó la capacidad máxima de los biodigestores, aprovechando una mayor cantidad de excretas y produciendo una mayor cantidad de biogás, maximizándose el uso del terreno ocupado por el biodigestor (Coto, et al. 2007)

Otro sistema parecido al proyecto desarrollado fue en el año 2010, la Fundación Universitaria San Gil de Colombia, publicó un artículo con el diseño y construcción de un sistema prototipo para el aprovechamiento de biogás en el proceso de curado de tabaco en Santander. El objeto del proyecto era plantear una solución energética alternativa que pudiera disminuir los altos costos de producción por la utilización de los combustibles no renovables (Díaz, et al. 2013).

Por último, en el Jardín Botánico de Ecuador se propuso un proyecto que tenía como objeto diseñar e implementar un sistema de control y automatización para el uso de Biogás, el sistema debía tener la capacidad de medir, visualizar y almacenar las variables para supervisarlas desde un punto remoto, y poder compararlas con los valores esperados del diseño y verificar que se encontraran en los rangos permisibles y así poder mejorar la producción de ese tipo de energía alternativa (Changuaro, et al. 2011)

## 5.3. Normatividad

- Artículo 232 de la ley 09 de 1979: decreta que tanto los desperdicios como los excrementos de los animales deben ser dispuestos de una manera correcta para evitar daños al medio ambiente y sanciones que pueda acarrear el incumplimiento de la normatividad en materia de vertimientos, residuos sólidos, entre otros.
- Decreto 4741 de 2005: Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- Decreto 2104 de 1983: Residuos sólidos. Prohibición de disponer residuos en cuerpos de agua, disposición final de basuras al mar, control de lixiviados para evitar contaminación de aguas superficiales o subterráneas.

- Decreto 948 de 1995: Control de la calidad del aire. Olores ofensivos. Estatuto que establece lo relativo a las emisiones atmosféricas y al control de ellas y del ruido en las áreas urbanas, suburbanas y rurales.
- Ley 99 de 1993: Elaborada por el Congreso de la República de Colombia. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Una de las funciones del Ministerio es regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural.
- Ley 1715 de 2014: regula la integración de las energías renovables al sistema energético colombiano, establece en el artículo 17, que el gobierno nacional junto con las corporaciones autónomas regionales debe gestionar un plan de aprovechamiento del contenido energético de la biomasa orgánica y su potencial como una fuente no convencional de energía renovable.
- Ley 1333 de 2009: Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.
- Ley 1351 de 2009: Por medio de la cual se aprueba el “Convenio del Programa Cooperativo para el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria”, Enmendado, y el “Convenio de Administración del Programa Cooperativo para el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria”.
- Resolución 789 de 2007: Manejo de sustancias químicas y biológicas de uso pecuario y sus residuos.
- Resolución ICA 789: se establecen obligaciones y responsabilidades en el manejo de insumos, sustancias químicas y biológicas de uso pecuario y sus residuos o desechos con propiedades o características peligrosas.

## 6. Análisis de restricciones

### 6.1. Restricciones que impiden el desarrollo del proyecto

Habría una dificultad en la recolección de los residuos debido a la imposibilidad para conocer todas las granjas en las que se haría la colecta de la materia, ya que cada una es diferente, los mecanismos de recolección deberían adecuarse de forma “personalizada” a cada una de ellas. Esto también crea una restricción al momento de identificar si las granjas son tecnificadas o no, de esto depende la creación de un modelo estándar que cubra las necesidades. Saber la cantidad de granjas totales y la cantidad de animales y desperdicios reales, dificultan establecer con exactitud cuales deberían ser los límites de manejo y cantidades que se transportan.

Los acuerdos con los propietarios de las granjas también se ven afectados por la falta de presencialidad. Conocer el costo que tendría la materia, la adecuación de espacios para la entrada de los autos o el cambio de estructura para la facilidad de la recolección se complejiza y solo permite trabajar con estimaciones de cómo se deberían crear modelos y convenios.

En el transporte, la falta de información derivada de la pandemia impide el conocimiento real del estado de las vías y el acceso vehicular hacia las granjas. Además, al no contar con la verificación presencial, es difícil trazar los límites que se trabajarían para el cubrimiento de la ruta. Por otro lado, no existe una normatividad definida para el transporte de este tipo de residuos o para los recipientes en los que deben ser guardados mientras se llega a la planta.

La financiación sería otra restricción que impediría el correcto desarrollo del proyecto. Se requiere de fondos para cumplir con las tareas de verificación y prototipado, pues al ser un proyecto de gran magnitud, se necesitaría de altas cifras de dinero para hacer un modelo que pueda revisarse y evaluarse.

### 6.2. Posibles restricciones futuras para el desarrollo de las actividades del sistema y planta ya como proyecto establecido y en funcionamiento

Las restricciones del proyecto están delimitadas por los factores ambientales, sociales, normativos, económicos, políticos, éticos. La primera restricción que tiene el sistema, son los acuerdos que se establezcan con los dueños de las diferentes granjas, para la recolección diaria de los residuos sólidos. Estos sitios no solo deben contar con características óptimas que

permitan la recolección, como vías de acceso, o disposición del área, también deben garantizar la salud del operario a través de la mitigación de virus o enfermedades causadas por la recolección de los residuos. Los acuerdos establecidos tendrían como objeto un beneficio social, ambiental, económico para ambas partes.

Una segunda restricción tiene estricta relación con la poca cantidad de residuos que pueden ser recolectados en las diferentes granjas al día, luego, están las condiciones de almacenamiento de los tanques y sus variables de temperatura, pH, humedad, filtración, y el correcto sellamiento, entre otros, porque afectan directamente el estado de los desechos cuando estas condiciones no son las adecuadas y puede generar subproductos, una fermentación acelerada, o la propagación de virus o bacterias que pueden afectar la salud humana, animal o del ambiente.

En el tratamiento y almacenamiento de los residuos, se debe tener en cuenta acumulación de gases de efecto invernadero como producto de la descomposición de los desechos. De hecho, si no se controla la cantidad de gas se podrían generar accidentes o explosiones a causa de la capacidad calorífica de los compuestos gaseosos como el CH<sub>4</sub> y el CO, para evitarlo, se tendrán que revisar los límites de inflamabilidad y hacer el cálculo correspondiente de los UFL y LFL para los gases producidos y a la par, tener un sistema de almacenamiento de gas y liberación de presión o un sistema de ignición controlada (Gas Flare) en caso de acumulación excesiva.

Para lograr una eficiencia del transporte, no solo debe cumplirse con la normativa vial y la seguridad del operario, también se debe optimizar la cantidad de trayectos que puedan realizar los diferentes vehículos de carga en un mismo conjunto de municipios al día. La calidad de los residuos, estado de la materia sólida, disposición del espacio, adecuación del terreno y el licenciamiento son restricciones del proceso logístico, dependiendo de las medidas específicas de cada uno, se hará un tratamiento específico que requerirá de más energía o espacio.

Si no se cumple con la normativa de los materiales que tendrán contacto con el excremento, se puede generar una afectación a la salud humana de los trabajadores y particulares ya que pueden ocurrir fugas o generar lesiones. También, podría verse afectado el proceso en caso de algún cambio en las rutas debido a condiciones climáticas, que afecten el relieve, o las condiciones de la vía y se generen obstrucciones que pongan en riesgo la seguridad de los transportadores. Como medida preventiva, se tiene que contar con un mapa de rutas completo donde estén presentes las alternativas en caso de que las vías principales estén inhabilitadas. Para los materiales que tendrán contacto con los desechos, se tiene que hacer una revisión

exhaustiva sobre los materiales idóneos para el proceso, con ayuda de manuales o estándares internacionales que apliquen también a la normatividad colombiana si en ella están presentes estas contemplaciones.

## 7. Alternativa de solución

### 7.1. Posibles soluciones

Para dar solución a la problemática encontrada, se plantearon las siguientes alternativas de solución por requerimiento del proyecto como se evidencia en la tabla 2, las soluciones propuestas tenían como meta el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

**Tabla 2.** Alternativas de solución.

Requerimientos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Selección de municipios para la recolección.	Municipios con mayor número de granjas tecnificadas y granjas traspatio de producción porcina	Municipios que no estén recolectando los residuos pecuarios y que puedan ser aprovechados en proyectos de producción de energía.	Municipios que han elaborado proyectos sobre aprovechamiento de residuos orgánicos para generar Biogás.
Recolección de residuos pecuarios.	Recolección de residuos húmedos provenientes de las granjas.	Recolección de residuos secos provenientes de las granjas.	Recolección de residuos combinados provenientes de las granjas.
Almacenamiento de los residuos.	Uso de pozos de concreto para el almacenamiento, sin alterar las características de los desechos.	Uso de pozos en HDPE o PVC para el almacenamiento, sin alterar las características de los desechos.	El almacenamiento de los residuos se podría realizar en pozos de tierra, con condiciones aptas.
Transporte de los residuos.	Implementación de una ruta específica por los tres conjuntos de	Implementación de una ruta específica por los tres conjuntos de	Los dueños de las fincas se encargarán de transportar los residuos

	municipios que permitan la recolección de residuos húmedos usando carro tanques como medio de transporte.	de municipios que permitan la recolección de residuos secos usando volquetas como medio de transporte.	hacia los sitios de almacenamiento.
Disposición Final.	Con el sistema logístico de transporte los residuos son llevados directamente desde el sitio de almacenamiento al sitio de disposición final.	El sistema de transporte de los residuos desde el sitio de almacenamiento y la planta de disposición final serán llevados por una empresa externa que contrate la planta de tratamiento final.	El sitio de almacenamiento será el sitio de disposición final de los residuos, es decir, no se implementará un transporte entre el almacenamiento y el proceso final.

**Tabla 2.** Elaboración Propia.

## 7.2. Mejor alternativa seleccionada

La solución de la problemática planteada está dividida en cinco requerimientos para su correcta ejecución, el primer requerimiento consiste en la elección de lugares para la recolección de residuos pecuarios, para esto se seleccionarán los municipios con mayor número de granjas tecnificadas y granjas traspatio de producción porcina en el departamento de Cundinamarca, basados en los censos pecuarios, los animales disponibles y la cantidad de residuos diarios.

El segundo requerimiento tiene que ver con la recolección de residuos pecuarios provenientes de las granjas, las cuales tendrán un sitio de almacenamiento definido, que permita un almacenamiento de los sólidos sin alteraciones, ni filtraciones en el suelo para su posterior recolección, la cual se hará con unas rutas establecidas por los conjuntos de municipios.

El siguiente paso es el almacenamiento de los residuos en el lugar de recolección, se hará en tanques de plástico sellados y reutilizables, que puedan ser transportados con facilidad entre los sitios de recolección y la planta de tratamiento. El transporte estará a cargo de una empresa

aliada con una flota de camiones de carga pesada, con una capacidad de carga que supere las 3.5 toneladas y contar con una cabina metálica con puertas de ambos lados laterales.

En el sitio de almacenamiento final, proceso que se realiza cuando el camión descarga los residuos en la planta, se utilizarán pozos de PVC y HDPE que no alteran las características de los desechos, mientras se realiza el tratamiento final para la producción de biogás.

## 8. Especificaciones de ingeniería para la solución y el dimensionamiento los componentes

### 8.1. Recolección

Para la recolección, se tienen dos métodos diferentes de acuerdo al espacio en las granjas y también a su condición técnica. En el caso de las granjas porcinas no tecnificadas, se tiene que hacer en conjunto con mano de obra debido a las diferentes instalaciones.

**Ilustración 3.** Recolección Residuos.

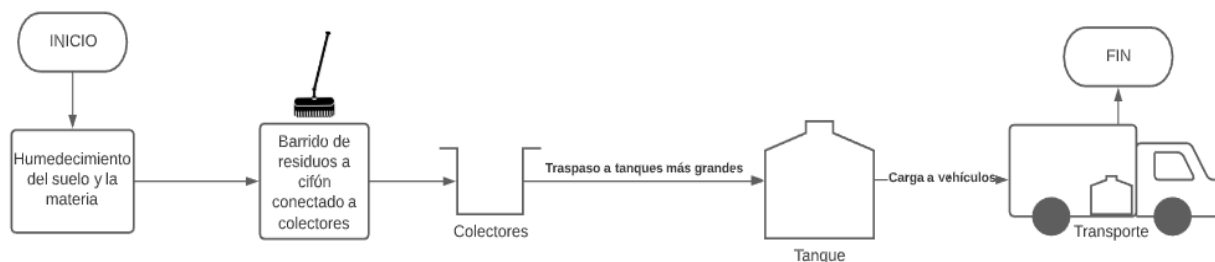


Ilustración 3. Autoría Propia.

De acuerdo la ilustración 3, en el proceso se presentan diferentes etapas en las cuales existe una colaboración conjunta con los empleados de las instalaciones. Las estructuras convencionales consisten en construcciones pequeñas, rectangulares con recipientes de alimento y agua, que también puede ser con llaves especiales para evitar contaminación de agua y los recipientes de la misma. Estos espacios cuentan con una salida o en ocasiones, con un sifón, a donde son barridos los desechos de los cerdos con ayuda de agua.

Normalmente, estos desechos se dejan caer por unos canales que los llevan lejos de las fincas o quedan dispuestos en "semi-pantanos" donde se secan; la recolección es vital para evitar los malos olores y el desperdicio de esta materia. Así, se propuso recoger en recipientes

de menor tamaño la materia arrastrada con el barrido que posteriormente, serían llevados a otros tanques más grandes; allí se pueden cargar los camiones con la materia en los tanques o puede ser bombeada a carrotanques para evitar las complicaciones en caso de que sea una cantidad elevada (ilustración 4).

Por otro lado, están las granjas tecnificadas que cuentan con espacios más grandes y con mayor tecnología durante el proceso.

**Ilustración 4.** Transporte de Residuos.

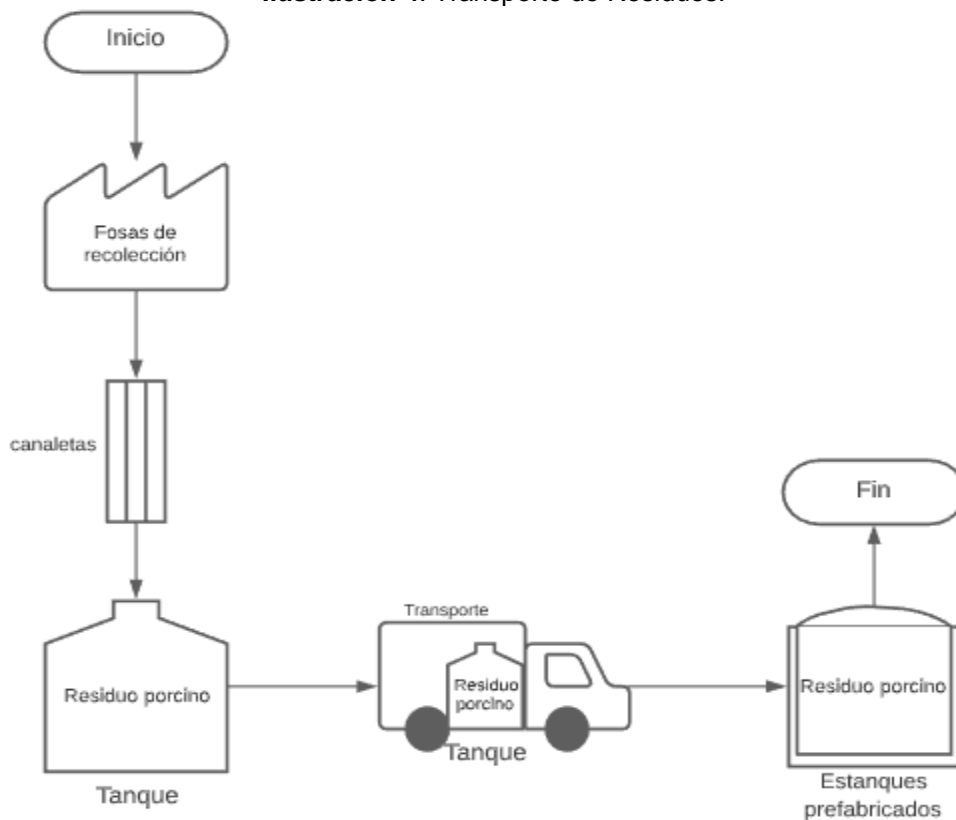


Ilustración 4. Autoría Propia.

Se tiene que hacer un acuerdo con los dueños de las granjas para poder hacer la instalación de un sistema de recolección más automatizado que en una granja no tecnificada. Habría un barrido al igual que en las otras granjas, pero al salir por el sifón, el material cae por acción de la gravedad a través de cañerías o canaletas hacia un tanque que colecta todos los residuos generados. Allí el vehículo de transporte se carga con ayuda de una bomba y parte rumbo a la planta.

## 8.2. Almacenamiento

A cada finca llegará un carrotanque con el contenedor desocupado para recoger uno nuevo cargado, estos serán ocupados a través de bombeo para el caso de que se requiera que el excremento sea húmedo y que no haya necesidad de cargarlo. Para el caso de que el excremento sea seco se deberán tener contenedores más pequeños para que puedan ser cargados y movidos por el personal encargado.

Para el almacenamiento será necesario tener pozos subterráneos donde se pueda descargar cada contenedor cargado y allí empezar el proceso de acondicionamiento galo y proceso para darle su uso.

**Ilustración 5. Almacenamiento de Residuos.**



Ilustración 5. Autoría Propia.

## 8.3. Transporte

**Ilustración 6. Ruta Municipios Junín, Gama, Gachalá.**

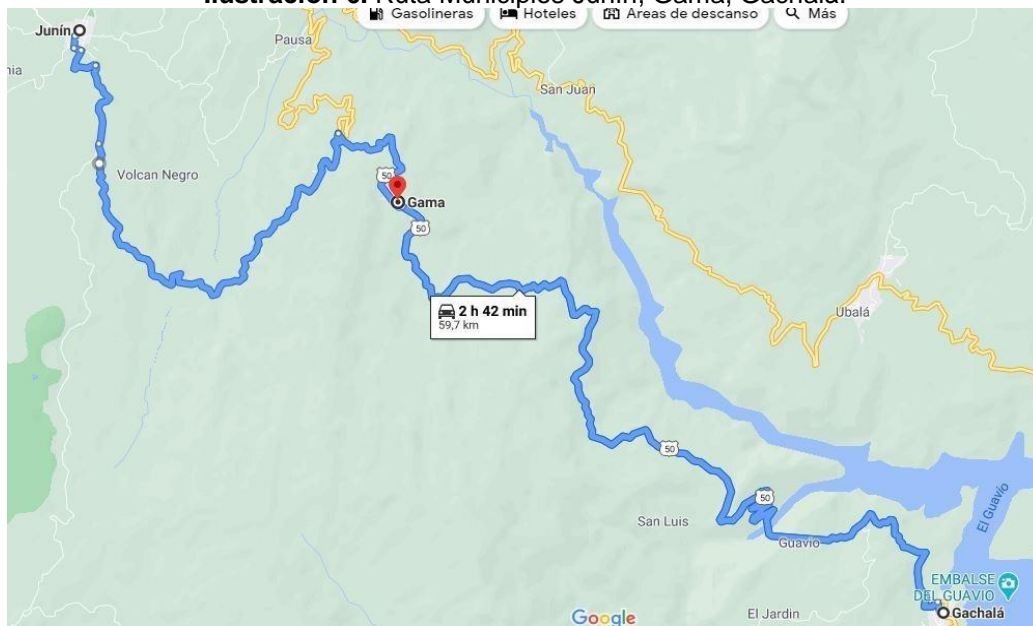


Ilustración 6. Google Maps 2020

La ilustración 6 muestra la mejor ruta para ese conjunto de municipios, con una distancia aproximada de 60 km y un tiempo aproximado de 2 horas y 40 minutos de recorrido total, empezando por el municipio de Junín, luego Gama y finalizando en Gachalá. La planta de tratamiento podría estar localizada en Gama o sus cercanías, con el fin de acortar un poco las distancias y agilizar los trayectos de recolección y de descarga. Está ruta no incluye la distancia de los trayectos entre las veredas, ni el tiempo implementado para la recolección de los residuos.

**Tabla 3.** Características del recorrido entre Junín, Gama y Gachalá.

<b>Municipios: Junín, Gama y Gachalá (60km – 2h 42min)</b>	
<b>Junín - Gama</b>	<b>Gama - Gachalá</b>
<b>Distancia:</b> 27,3 km	<b>Distancia:</b> 21,9 km
<b>Tiempo aproximado:</b> 1h	<b>Tiempo aproximado:</b> 55 min
<b>Número de Granjas disponibles:</b> 108 en total. 64 tecnificadas y 44 traspatio.	<b>Número de Granjas disponibles:</b> 148 en total. 111 tecnificadas y 37 traspatio.
<b>Características de las vías:</b>	
<b>Vías secundarias:</b> La Calera - Junín, Junín - Gama y Gama Gachalá	
<b>Vías terciarias:</b> Conexiones entre las 65 veredas de los 3 municipios.	
<b>Observaciones:</b> No hay peajes en las vías que conectan los municipios.	

Tabla 3. Autoría Propia.

**Ilustración 7.** Ruta Municipios Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque.

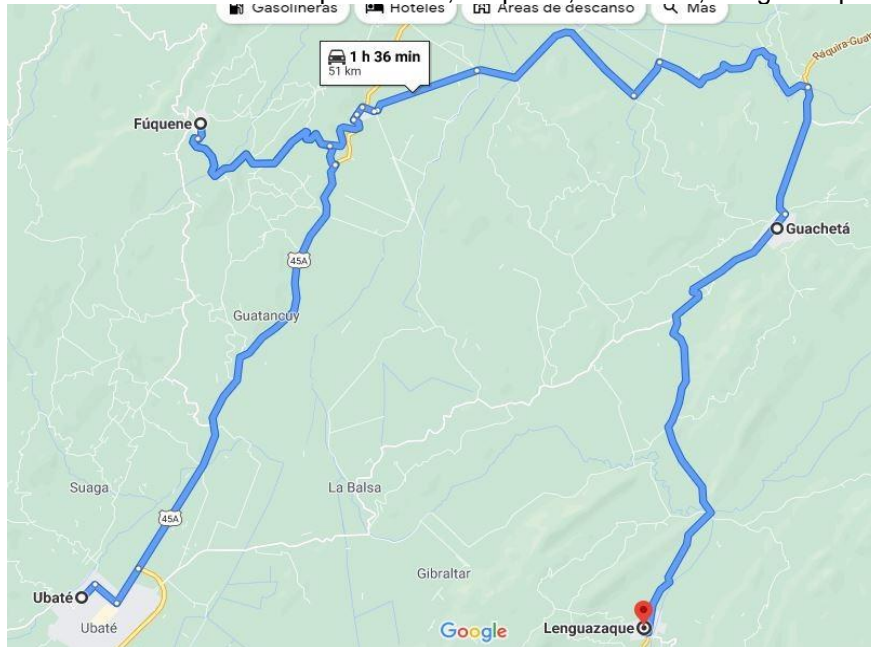


Ilustración 7. Google Maps 2020

La ruta de municipios que empieza en Lenguazaque, Guachetá, Fúquene y termina en Ubaté tiene una distancia aproximada de 51 km y un tiempo de recorrido aproximado de 1 hora y 40 minutos de recorrido total. La planta de tratamiento podría estar localizada entre Fúquene o Guachetá o las cercanías, para poder optimizar las distancias y agilizar los trayectos de recolección y de descarga. Está ruta no incluye la distancia de los trayectos entre las veredas, ni el tiempo implementado para la recolección de los residuos.

**Tabla 4. Características** del recorrido entre Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque.

<b>Municipios: Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque (51km – 1h 40min)</b>		
<b>Ubaté - Fúquene</b>	<b>Fúquene - Guachetá</b>	<b>Guachetá - Lenguazaque</b>
<b>Distancia:</b> 17,5 km	<b>Distancia:</b> 22,3 km	<b>Distancia:</b> 11,2 km
<b>Tiempo aproximado:</b> 28 min	<b>Tiempo aproximado:</b> 42 min	<b>Tiempo aproximado:</b> 28 min
<b>Número de Granjas disponibles:</b> 112 en total. 48 tecnificadas y 64 traspatio.	<b>Número de Granjas disponibles:</b> 47 en total. 17 tecnificadas y 30 traspatio.	<b>Número de Granjas disponibles:</b> 73 en total. 37 tecnificadas y 36 traspatio.
<b>Características de las vías:</b>		
<b>Vías primarias:</b>		
<b>Vías secundarias:</b>		
Vía Autopista Norte - Ubaté - Fúquene - Guachetá y Lenguazaque		
<b>Vías terciarias:</b>		
Conexión entre las 54 veredas de los 4 municipios.		
<b>Observaciones:</b> No hay peajes en las vías que conectan los municipios.		

Tabla 4. Autoría Propia.

**Ilustración 8.** Ruta Municipios Viotá, Anapoima, La Mesa, El Colegio.

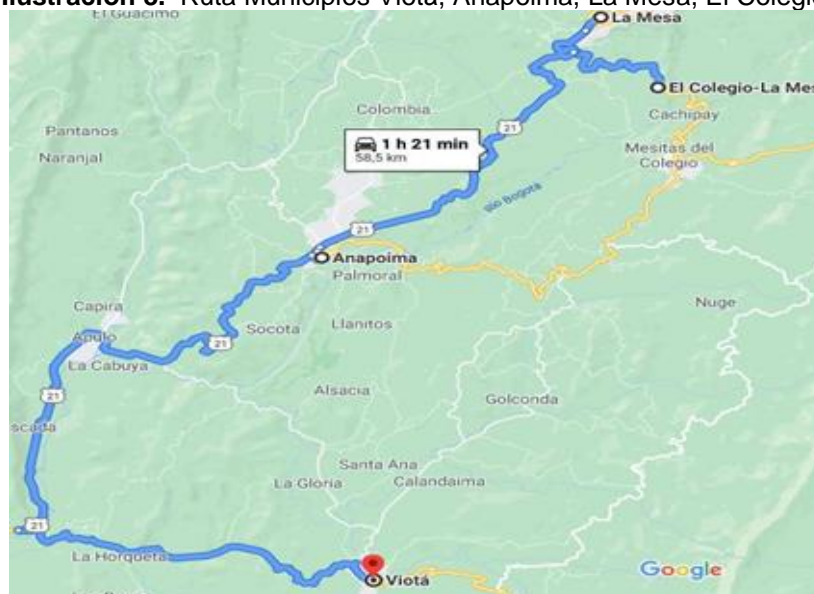


Ilustración 8. Google Maps 2020

La anterior imagen muestra la ruta con menor distancia (58,5 km) y un tiempo aproximado de 1 hora y media de recorrido total para los municipios de Viotá, Anapoima, La Mesa y El Colegio en Cundinamarca. La ruta empezaría en Viotá, seguido Anapoima, luego la mesa y por último El Colegio. La planta de tratamiento podría estar localizada entre la vía el Colegio – Anapoima, sería el punto más central entre los cuatro municipios y así optimizar los trayectos de recolección y de descarga. Está ruta no incluye la distancia de los trayectos entre las veredas, ni el tiempo implementado para la recolección de los residuos.

**Tabla 5.** Características del recorrido entre Viotá, Anapoima, La Mesa, El Colegio.

<b>Municipios: Viotá, Anapoima, La Mesa, El Colegio (58,5 km – 1h 30 min)</b>		
<b>Viotá - Anapoima</b>	<b>Anapoima – La Mesa</b>	<b>La Mesa – El Colegio</b>
<b>Distancia:</b> 34,5 km	<b>Distancia:</b> 16,9 km	<b>Distancia:</b> 13,8 km
<b>Tiempo aproximado:</b> 43 min	<b>Tiempo aproximado:</b> 24 min	<b>Tiempo aproximado:</b> 25 min
<b>Número de Granjas disponibles:</b> 139 en total. 97 tecnificadas y 42 traspatio.	<b>Número de Granjas disponibles:</b> 170 en total. 123 tecnificadas y 47 traspatio.	<b>Número de Granjas disponibles:</b> 165 en total. 106 tecnificadas y 59 traspatio.
<b>Características de las vías:</b>		
<b>Vías primarias:</b> Vía Tocaima; Apulo; Anapoima-Tocaima; Mesa-Anapoima; El Colegio-La Mesa		
<b>Vías secundarias:</b> Anapoima-La Mesa, Autopista Sur (Bogotá); Viotá-El Colegio; El Colegio-Anapoima.		
<b>Vías terciarias:</b> Conexiones con las 137 veredas de los 4 municipios.		
<b>Observaciones:</b> Peaje San Pedro vía La Mesa-Anapoima.		

Tabla 5. Autoría Propia.

#### 8.4. Características de los residuos.

La tabla 6 muestra las características de los residuos sólidos, su composición, cuidados, disposición y transporte.

**Tabla 6.** Características de los Residuos

<b>Tipo de Materia:</b>	<b>Residuos pecuarios de cerdo</b>
Usos pertinentes identificados de la sustancia y usos desaconejados	Desechos producto del sector porcino Uso de laboratorio Uso industrial Uso agroindustrial
Composición	Valores en kg por cada 100kg de estiércol: Nitrógeno: 4,5 P2O5: 2,0 K2O: 6,0  Componentes en menor proporción: Azufre Magnesio Calcio

	<p>Manganeso Boro Cobre</p> <p>Base del material: Carbono como base de los desechos, además de presencia de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO2) y metano (CH4)</p>
Riesgos	<p>Irritación en ojos y oídos, además de una posible infección Peligro por acumulación de gases en almacenamiento producto de la descomposición Irritación por ingesta</p>
Recolección	<p>Tres zonas de recolección:</p> <p>Sector 1: Junín, Gama, Gachalá</p> <p>Sector 2: Ubaté, Fúquene, Guachetá, Lenguazaque</p> <p>Sector 3: Anapoima, La Mesa, Viotá, El Colegio</p> <p>Las fosas donde se recolecte el residuo deben ser en cemento para evitar el derrame de lixiviados, con suficiente capacidad.</p>
Disposición	<p>Posibilidad de mezcla con residuos alimentarios, orina y agua Disposición en seco Disposición húmeda</p>
Contenedores	<p>Superficie lisa, rígida, de fácil limpieza y desinfección. Construidos con un material inalterable e impermeable. Contenedores reutilizables y/o retornables.</p>
Disposición del terreno en fincas y almacenamiento final	<p>Diseñar una pendiente para que el residuo discorra fácilmente de las fosas de recolección a los contenedores.</p> <p>Estanques situados sobre la superficie del suelo, prefabricados. Disminución del riesgo de filtración.</p>
Especificaciones de vehículos	<p>Cubierta rígida y lisa de material que permita el fácil lavado y desinfección de la misma, con cierre hermético sobre goma que impida cualquier salida de líquidos y olores</p>

Tabla 6. Autoría Propia.

### 8.5. Sostenibilidad

En la tabla 7 se puede evidenciar la ficha técnica de sostenibilidad con énfasis en energía, muestra las actividades que se van a realizar en el sistema logístico, junto con su beneficio en la generación de este tipo energía renovable.

**Tabla 7.** Ficha Técnica Energía.

<b>FICHA TÉCNICA DE SOSTENIBILIDAD</b>	
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ENERGÍA</b>
Recolección	<p>La generación de energía por medio de biogás, a partir de excremento de cerdo, es una tecnología que permitirá un ahorro económico para donde quien la aplique.</p> <p>Por ejemplo: 5 cerdos grandes en cuanto días pueden generar 200 litros de estiércol, con lo que se podrá comprimir 8.3 metros cúbicos de biogás y se presume que cada metro cubico de biogás se puede transformar a 6.25 Kilowatts hora, por lo que se puede satisfacer durante una hora más de 100 focos ahorradores de 20 o 40 watts.</p>
Almacenamiento para el transporte	
Transporte	
Almacenamiento final	
Tratamiento (proceso de biogás)	

Tabla 7. Autoría Propia

La siguiente tabla evidencia el aspecto social, mientras se ejecuta el sistema logístico, tiene en cuenta desde los ingresos económicos hasta la generación de empleo en los diferentes municipios de Cundinamarca.

**Tabla 8.** Ficha Técnica Social.

<b>FICHA TÉCNICA DE SOSTENIBILIDAD</b>	
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>SOCIAL</b>
Recolección	<p>Acuerdos y beneficios económicos para los dueños de las granjas tecnificadas y traspatio.</p> <p>Generación de empleo a los transportistas encargados de llevar los residuos y a los encargados del proceso de</p>
Almacenamiento para el transporte	
Transporte	
Almacenamiento final	

Tratamiento (proceso de biogás)	almacenamiento final y del tratamiento para su debido proceso de biogás.
---------------------------------	--

Tabla 8. Autoría Propia

## 9. Análisis de costos del diseño

Para el análisis de los costos se tuvo en cuenta la construcción de los pozos de almacenamiento en las granjas traspatio, que según el censo del ICA del 2019 para los 3 conjuntos de municipios (como consta la tabla 9), son 255 predios en total. Se estipuló un gasto de \$54.600.000 entre materiales para la construcción del pozo, canaletas, conexiones, mano de obra y un 10% adicional para imprevistos (tabla 10).

**Tabla 9.** Predios Disponibles.

MUNICIPIO	TOTAL CERDOS EN GRANJAS TECNIFICADAS	TOTAL CERDOS DE TRASPATIO	TOTAL PORCINOS - 2019	TOTAL GRANJAS TECNIFICADAS	TOTAL PREDIOS TRASPATIO	TOTAL PREDIOS 2019
GACHALÁ	250	150	400	62	10	72
LENGUAZAQUE	171	250	421	27	21	48
GUACHETÁ	612	238	850	10	15	25
JUNÍN	856	394	1.250	15	17	32
FÚQUENE	996	304	1.300	7	15	22
GAMA	864	780	1.644	49	27	76
EL COLEGIO	3.133	767	3.900	48	23	71
ANAPOIMA	4.759	809	5.568	65	11	76
VIOTÁ	6.381	3.719	10.100	32	31	63
UBATÉ	7.995	2.805	10.800	41	49	90
LA MESA	10.237	980	11.217	58	36	94

Tabla 9. Animales Disponibles en Cundinamarca. ICA, 2019.

Para los costos de transporte se tuvieron en cuenta las rutas estipuladas en las especificaciones, la distancia promedio entre cada recorrido y un tiempo aproximado de carga y descarga de los residuos. No se tomó en cuenta el alquiler de los carrotanques necesarios para la ejecución del proyecto, porque, el costo por vehículo es muy elevado, se sugiere que cada planta de tratamiento tenga una flota disponible para la recolección de los residuos sólidos.

**Tabla 10.** Análisis de Costos

Actividad	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Costo total
Construcción	Pozos almacenamiento en Granjas Traspatio (80m3)	280	Pozos	\$80.000	\$22.400.000
	Materiales (tubos, codos, uniones)	280	Conjuntos	\$75.000	\$21.000.000
	Mano de Obra	280	Obrero/Dia	\$40.000	\$11.200.000
Transporte	Distancia Ruta Conjunto 1	60	\$COP/km	\$150	\$9.000
	Distancia Ruta Conjunto 2	51	\$COP/km	\$150	\$7.650
	Distancia Ruta Conjunto 3	58,5	\$COP/km	\$150	\$8.775
	Recorrido 1	86	\$COP	\$9.000	\$774.000
	Recorrido 2	335	\$COP	\$7.650	\$2.562.750
	Recorrido 3	44	\$COP	\$8.775	\$386.100

Tabla 10. Autoría Propia.

## 10. Prototipado o diseño conceptual.

En la ilustración 9, se evidencia el diagrama del sistema logístico desde el punto de recolección, hasta su aprovechamiento final, cada etapa esta descrita en el título 8, especificaciones de ingeniería para la solución y el dimensionamiento de los componentes

Ilustración 9. Diagrama Prototipo Final

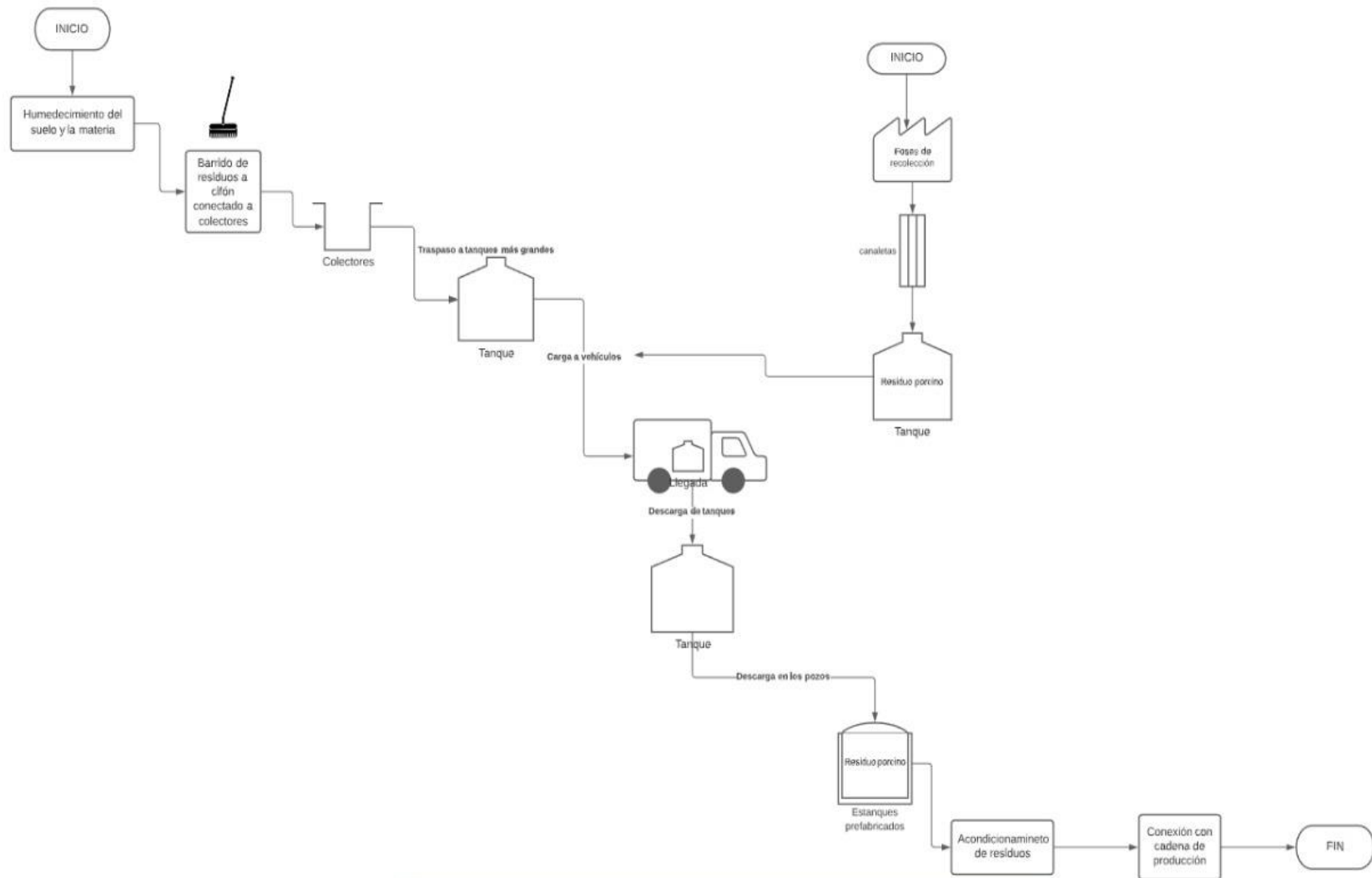


Ilustración 9. Autoría Propia.

## 11. Conclusiones y recomendaciones

- Se observó que, para el desarrollo adecuado de los desempeños del proyecto, estos deben estar sujetos a las características de cada una de las fincas escogidas y se debe tener una certeza de las cantidades dispuestas de excremento para lograr el óptimo funcionamiento de cada uno de los requerimientos.
- Al finalizar el análisis de las restricciones se estimó una gran producción de biogás con residuos porcino, sin embargo, la información encontrada no es totalmente confiable y es necesario de visitas presenciales para evaluar la totalidad de producción.
- La tecnología presente en el país para la producción de biogás rara vez se encuentra en las zonas rurales, es necesario la implementación de un sistema logístico que permita la optimización de los recursos y sea amigable con el usuario.
- Las diferentes alcaldías municipales no cuentan con información sobre el tratamiento y disposición final de los residuos agrícolas, dificultando la implementación de proyectos logísticos basado en el uso y aprovechamiento de esos desechos.
- Finalmente, el respectivo manejo que se le puede dar a los desechos porcinos en una granja, además de reducir la contaminación que estos producen, mejora las condiciones de vida de los trabajadores y habitantes de las granjas y es una forma de aprovechar al máximo los desechos que se generan.

## 12. Referencias

*Biodigestor: significado y funcionamiento* | Fundación Aquae. (s.f.). Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/biodigestor/>

*Biogas - Organization of American States.* (s.f.). Recuperado de: <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20%20Biogas.pdf>

Chaguaro Jarrín, D. W., & López Hidalgo, W. J. (2011). *Diseño e implementación de un sistema de control y automatización para la planta de biogás del Jardín Botánico de Quito* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2011).

Coto, J. E., Maldonado, J. J., Botero, R., & Murillo, J. V. (2007). Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en la finca pecuaria integrada de EARTH. *Tierra Tropical*, 3(2), 129-138.

Daniela, R. (2016). *Capacitación Decreto 4741 de 2005. Residuos Peligrosos*. Recuperado de: <https://comunicaciones.utp.edu.co/noticias/31153/capacitacion-decreto-4741-de-2005-residuos-peligrosos-respel>

Decreto 1594 de 1984, Ministerio de Agricultura. Recuperado de: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/31118/1/YagueRM\\_InfTecn\\_2010a.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/31118/1/YagueRM_InfTecn_2010a.pdf)

Díaz, E. (2010). Plan de manejo integral de residuos sólidos. Servicio Nacional de Aprendizaje. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/gloriaedr/pmirs-ctpga-2010>

Díaz, M. E., Rodríguez, D. A., Lizarazo, H. A., Delgado, D., Dueñas, F., Peñaranda, L., & Bernal, O. J. (2013). *Diseño Y Construcción De Un Sistema Prototipo Para El Aprovechamiento De Biogás En El Proceso De Curado De Tabaco Virginia Para Hornos Flue Cured*. *Revista colombiana de tecnologías de avanzada (rcta)*, 1(17).

Gil, E. (2018). *Residuos sólidos. Estrategias Para Aumentar La Competitividad En Los Centros*. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6890/1/4131636-2018-II-GE.pdf>

ICA, 2019. Censo Pecuario – 2019. *Instituto Colombiano Agropecuario*. Colombia. 2019. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>. 12 de septiembre 2020

Intagri S,C, 2020. Sistema de Producción Porcina. México 2020. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/sistemas-de-produccion-porcina#:~:text=La%20porcicultura%20intensiva%20o%20tecnificada,cada%20%C3%A1rea%20y%20programas%20de>. 14 de septiembre 2020

Ley 09, 1979. Ley 9 de 1979 por la cual se dictan Medidas Sanitarias. Ministerio de Salud. Colombia Recuperado de: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf) Revisado el 21 de agosto de 2020.

*¿Por qué es importante crear conciencia en la gente ...?* (s.f.). Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/422514944/Tecnologia-Empresas-de-Aseo>

SAC (2002) Guía ambiental para el subsector porcícola. Planificación, Domesticación. Recuperado de: <https://pt.scribd.com/document/71200954/porcicola>

Sánchez, Y. (2014). Almacenamiento. Guía almacenamiento de materia. Recuperado de: <http://www.esehospitalmedina.gov.co/documentos/protocolos/esterilizacion/guias/ES%20GU%2006%20ALMACENAMIENTO%20DE%20MATERIAL%20ESTERIL.pdf>

UPME, 2014. Ley 1715 de 2014. Ministerio de Minas y Energía. Colombia Recuperado de: [https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](https://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf). Revisado el 21 de agosto de 2020.

Varnero, M. 2011. Manual de biogás. Ministerio de Energía. Santiago de Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> Revisado el 21 de agosto de 2020.

Vicente S. Acosta, P. (2019) *Fuentes energéticas en la actualidad (contaminantes)* Recuperado de: <https://ciencitecblog.wordpress.com/2019/10/17/fuentes-energeticas-en-la-actualidad-contaminantes-y-limpias/>