

**EVALUACIÓN DE UNA TECNOLOGÍA PARA EL APROVECHAMIENTO
SOSTENIBLE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS PARA LA OBTENCIÓN
DE BIOGÁS EN LA FINCA “EL RUBÍ” EN SILVANIA CUNDINAMARCA**

JULIÁN FELIPE BELTRÁN RÍOS

Proyecto integral de grado para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Orientador

Harvey Andrés Mílquez Sanabria

PhD Ciencias – Energías Renovables

MsC Ingeniería Química

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERIAS

ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

BOGOTÁ D.C.

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., febrero de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Sr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Directora de Especialización en Gestión Ambiental

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A Dios principalmente por llenarme de bendiciones para poder culminar este trabajo y a mis padres que son mi mayor apoyo y el motor de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mis padres Cenaida Ríos y Luis Felipe Beltrán, quienes fueron los que me ayudaron y apoyaron en cada paso para poder culminar esta etapa tan importante en mi vida.

A mi familia, quienes son las personas más importantes en mi vida, quienes siempre han estado para mí, en cada meta que me he propuesto, dándome alientos y sintiéndose orgullosos de mí.

A Carolina por darme su amor incondicional, por brindarme su apoyo y acompañamiento siempre que lo necesite durante la realización de este proyecto, por creer en mí y por estar presente en cada uno de mis logros.

A mis amigos, quienes son los que alegran mis días y siempre tienen una sonrisa para mí.

CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	14
1. MARCO CONCEPTUAL	15
1.1 Funcionamiento de una finca de economía familiar	15
1.2 Residuos sólidos	17
1.2.1 Clasificación.	19
1.2.2 El manejo de los residuos sólidos.	23
1.3 Biogás	26
1.3.1 Etapas de generación de biogás.	27
1.3.2 Aplicaciones del biogás.	30
1.4 Biodigestores	31
1.4.1 Biodigestores tradicionales.	31
1.4.2 Biodigestores industriales.	31
1.5 Política	32
1.5.1 Desarrollo sostenible.	32
1.5.2 Otras normas.	33
2. IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA EN LA FINCA “EL RUBÍ”	35
2.1 Generalidades del municipio	35
2.1.1 Economía del municipio.	36
2.2 Características de la finca “el Rubí”	37
2.2.1 Procesos productivos.	40
2.2.2 Generación de residuos sólidos orgánicos.	44
3. COMPARACIÓN DE BIODIGESTORES EXISTENTES USADOS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS	47
3.1 Biodigestores tradicionales	47
3.1.1 Biodigestor de domo fijo.	47
3.1.2 Biodigestor de domo flotante.	49
3.1.3 Biodigestor de estructura flexible.	50

3.2 Biodigestores Industriales	52
3.3 Otros Biodigestores	53
3.3.1 Biodigestores horizontales.	53
3.3.2 Biodigestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).	54
3.4 TABLA COMPARATIVA	55
4. SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR QUE SE ADECUE A LAS NECESIDADES DE LA FINCA “EL RUBÍ”	58
4.1 Matriz para realizar la selección del biodigestor	58
4.2 Criterios de selección de la tecnología más viable	58
4.2.1 Generación Biogás.	58
4.2.2 Vida Útil.	59
4.2.3 Presión Biogás.	59
4.2.4 Fugas Biogás.	59
4.2.5 Tamaño.	59
4.2.6 Materiales Construcción.	59
4.2.7 Mantenimiento.	59
4.2.8 Ubicación y Espacio.	59
4.2.9 Tipo de Residuos.	60
4.2.10 Costos.	60
4.2.11 Movilidad del sistema.	60
4.3 Implementación de la matriz Pugh selección de la tecnología más viable	60
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
6. CONCLUSIONES	66
7. RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Sistemas de producción agropecuaria.	16
Figura 2. Clasificación de residuos sólidos	18
Figura 3. Clasificación de residuos domiciliarios	20
Figura 4. Características generales del biogás	26
Figura 5. Esquema básico de la producción de biogás	27
Figura 6. Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos.	29
Figura 7. Objetivos de Desarrollo Sostenible	32
Figura 8. Ubicación del municipio de Silvania Cundinamarca	35
Figura 9. Municipios que limitan con Silvania	36
Figura 10. Ubicación de la finca "El Rubí"	37
Figura 11. Entrada a la finca "El Rubí"	38
Figura 12. Estructura construida de la finca "El Rubí"	39
Figura 13. Estufa de leña de la finca "El Rubí"	40
Figura 14. Ganado lechero de la finca "El Rubí"	41
Figura 15. Proceso productivo del café	43
Figura 16. Residuos sólidos orgánicos generados en la finca "El Rubí"	46
Figura 17. Biodigestor de domo fijo	48
Figura 18. Biodigestor de domo flotante	49
Figura 19. Biodigestor de estructura flexible o polietileno	51
Figura 20. Biodigestor industrial	52
Figura 21. Biodigestor horizontal	54
Figura 22. Biodigestor discontinuo o Batch	54
Figura 23. Matriz PUGH	61
Figura 24. Matriz PUGH ponderada	62

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1. Cuantificación semanal de residuos sólidos obtenidos en el proceso de ordeño	44
Tabla 2. Cuantificación de residuos sólidos generados en la finca "El Rubí"	46
Tabla 3. Cuadro comparativo de las características principales de los biodigestores seleccionados.	56

RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación se fundamenta en la evaluación de la tecnología óptima para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos que son obtenidos en la finca de economía familiar “El Rubí” por los residuos provenientes de los procesos del café, ordeño, árboles y otros, logrando la producción de biogás para algunas instalaciones de la finca. Para comenzar este trabajo se realizó una investigación exhaustiva en la literatura para encontrar la información acerca de los tipos de fincas existentes, las tecnologías para aprovechamiento de residuos, los tipos de biodigestores y sus respectivas características. A continuación, se realizó una investigación enfocada en la finca “El Rubí”, donde se identificó las características de la misma, sus residuos y necesidades, concluyendo una producción de 8.5 m³ de residuos orgánicos obtenidos semanalmente. Posteriormente con la consulta realizada en la literatura sobre las tecnologías existentes, se evidencio que los mejores equipos para este proceso son los biodigestores, de los cuales se encuentran diferentes tipos según las características requeridas como lo son de domo fijo, domo flotante, estructura flexible, tipo Batch, horizontal y el tipo industrial. Finalmente, con la información recolectada y la realización de la matriz PUGH que contiene ciertos criterios específicos para seleccionar el mejor biodigestor que se adecue a las necesidades de la finca “El Rubí”, se identifica que el mejor biodigestor es el de estructura flexible debido a sus bajos costos y mantenimiento, materiales de construcción económico, producción de biogás aceptable y estructura pequeña y movable.

Palabras claves: Economía Familiar, Residuos sólidos orgánicos, aprovechamiento sostenible, biodigestor, biogás.

ABSTRACT

The document presented below is based on the evaluation of the most optimal technology for the sustainable use of organic solid waste that is obtained in the family farm "El Rubi" by the residues from the coffee and milking processes, trees and others, achieving the production of biogas for some facilities of the farm. To begin this work, an exhaustive research had to be carried out in the literature to find information about the types of existing farms, the technologies for the use of residues, the types of biodigesters and their respective characteristics. Next, an investigation was carried out focused on the "El Rubi" farm, where the characteristics of the farm, its waste and needs were identified, concluding a production of 8.5 m³ of organic waste obtained weekly. Subsequently, with the consultation carried out in the literature on existing technologies, it was evidenced that the best equipment for this process are biodigesters, of which there are different types according to the required characteristics such as fixed dome, floating dome, flexible structure, batch type, horizontal and industrial type. Finally, with the information collected and the realization of the PUGH matrix that contains certain specific criteria to select the best biodigester that suits the needs of the "El Rubi" farm, it is identified that the best biodigester is the one with a flexible structure due to its low costs and maintenance, inexpensive construction materials, acceptable biogas production, and small, movable structure.

Keywords: Family Economy, Solid organic waste, sustainable use, biodigester, biogas.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que se caracteriza por tener gran parte de su territorio dedicado a la producción ganadera y a la agricultura, teniendo aproximadamente el 90% del suelo designado a estas labores, esto se debe al gran consumo que hay por parte de la población de los alimentos cultivados y derivados de animales como lo son la vaca y el cerdo (OEA). Estos territorios son manejados y trabajados por campesinos que realizan actividades de agricultura familiar como lo es la pesca, la ganadería, la silvicultura, el pastoreo entre otras que dan el sustento a dichas familias. Por esta razón la economía familiar de estos campesinos interviene no solo con el núcleo familiar si no con todas las personas que participan en el proceso de recolección, venta y consumo de los productos que se obtienen de dichas actividades.

Al saber que las actividades agrícolas son tan importantes para el país, se debe tener en cuenta la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan, puesto que es un factor importante al evaluar el daño que están causando al ambiente, ya que la producción es proporcional a los desechos que se generan, los cuales pueden ser provechosos si se encuentran alternativas viables y útiles logrando disminuir su impacto ambiental como lo es la producción de biogás. Es decir se debe buscar mejorar las prácticas actuales relacionadas con la disposición de los residuos generados en la actividad agrícola.

A lo largo de este trabajo se realizará una exhaustiva investigación, donde se comparan distintos tipos de biodigestores que existen para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola y ganadera en la Finca el Rubí para la producción de biogás, donde se tendrá en cuenta las características de cada biodigestor y lo que los diferencia entre ellos. De esta forma se pretende encontrar una alternativa económica para todas las familias agrícolas del país las cuales se puedan beneficiar de la producción del biogás, usándolo como una fuente de energía alternativa para la realización de cualquier actividad que necesite de este tipo de energía.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar una tecnología para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos para obtener biogás en la finca “El Rubí” en Sylvania Cundinamarca.

Objetivos específicos

1. Identificar los residuos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola y ganadera en la finca “El Rubí”.
2. Comparar los tipos de biodigestores existentes usados para la generación de biogás a partir de residuos orgánicos.
3. Seleccionar los criterios más importantes para la implementación de un biodigestor que se adecue al aprovechamiento sostenible de los residuos y las necesidades de la finca “El Rubí”.

1. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual que se presenta a continuación se basa en una ardua investigación que ayudara al lector a tener más claridad frente al tema a tratar, donde se explicaran conceptos bases, complementarios y específicos como información de la finca, tipos de residuos orgánicos, la función del biogás y tipos de biodigestores. Teniendo claros dichos conceptos se podrá tener mayor facilidad para entender el documento y dar la percepción personal.

1.1 Funcionamiento de una finca de economía familiar

Para poder describir el funcionamiento de una finca familiar, primero es necesario dar a conocer que es una finca, definición que no es muy clara, debido a que existen algunos vacíos en el área legal, ya que no se tiene en cuenta su significado en algunas leyes y códigos civiles, pues no se tiene claridad en tomarla en un sentido material o registral, sin embargo, el autor García ofrece una definición de finca más completa, teniendo en cuenta estos inconvenientes, y la expresa como “bien inmueble consistente en un espacio suficientemente delimitado y susceptible de aprovechamiento independiente, con una titularidad unitaria, objeto de tráfico como unidad, y por ello susceptible de abrir folio registral”. (Almendros, 2018)

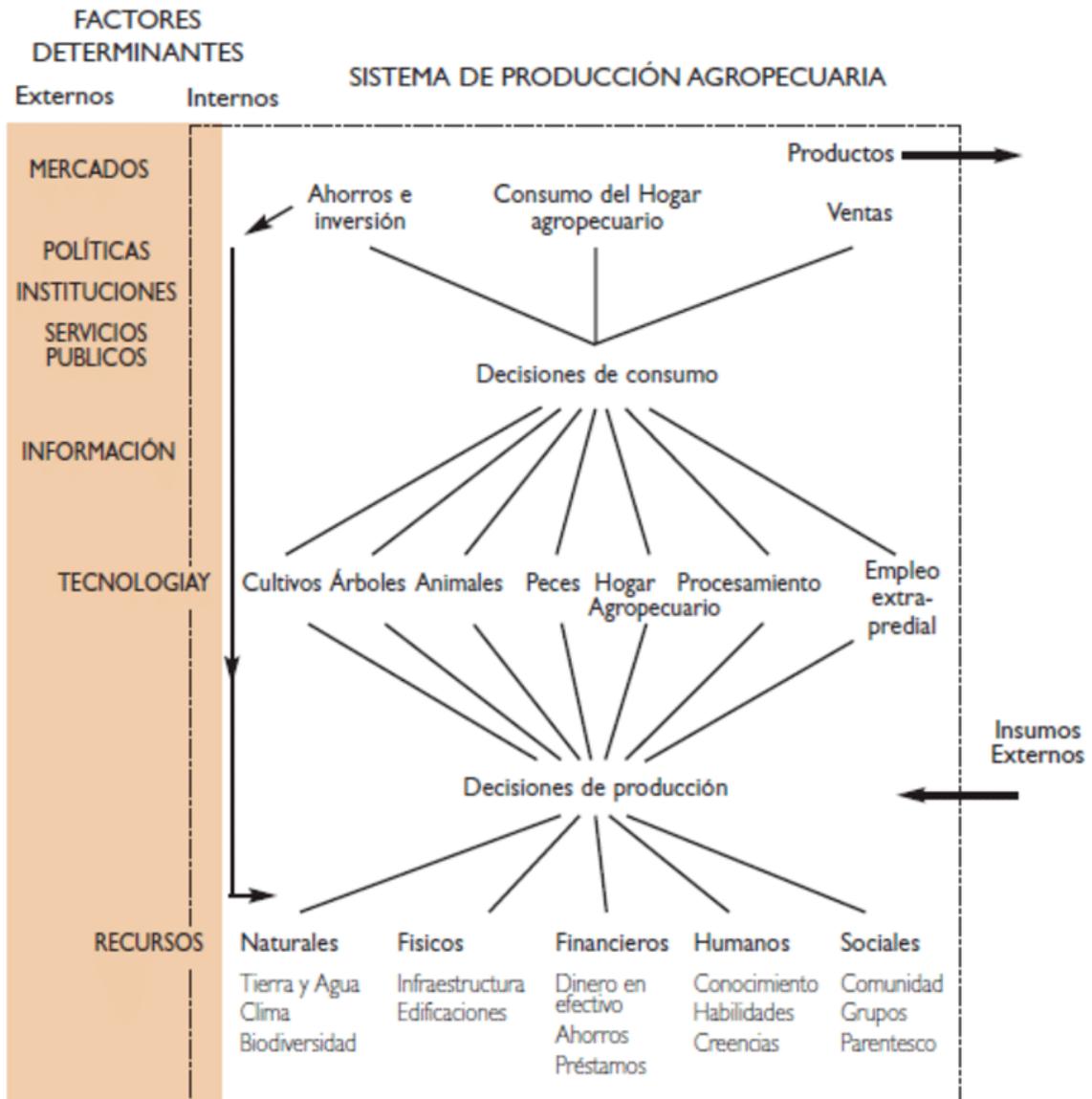
Conociendo un poco esta definición se podría decir que es un área que puede ser explotada de forma agrícola, pecuaria o forestal, esto quiere decir que se hace uso de los recursos que están disponibles en el entorno, que posteriormente se llegaran a procesar para obtener bienes, productos o servicios y residuos. Gracias a esto se evidencia la incidencia socioeconómica que genera una finca de economía familiar, generando empleo, productos de la canasta familiar, proporcionando materias primas para otros procesos productivos y generando suministros para los habitantes de la finca. Por otro lado, están los residuos que generan todos los procesos anteriormente mencionados, los cuales se indagaran más adelante a profundidad.

En la Imagen 1 se presenta un esquema del sistema de producción agropecuaria en donde se puede ver cuáles son los factores determinantes, teniendo en cuenta tanto los externos como son los mercados, políticas institucionales, servicios públicos e información, los cuales pueden afectar la productividad del sistema, y por otro lado los factores internos que son la tecnología y los recursos

Por otra parte, se puede ver el ciclo que sigue el sistema de producción comenzando con materias primas obtenidas de fuentes naturales, físicas, humanas y financieras para poder generar un proceso productivo; añadiendo a la ecuación, insumos externos que ayudaran a la eficiencia de la producción y posterior generación de productos para el consumo del hogar y para la venta.

Figura 1.

Sistemas de producción agropecuaria.



Nota. La imagen representa un esquema del sistema de producción agropecuaria en donde se puede ver cuáles son los factores determinantes.

Tomado de: (FAO, 2001)

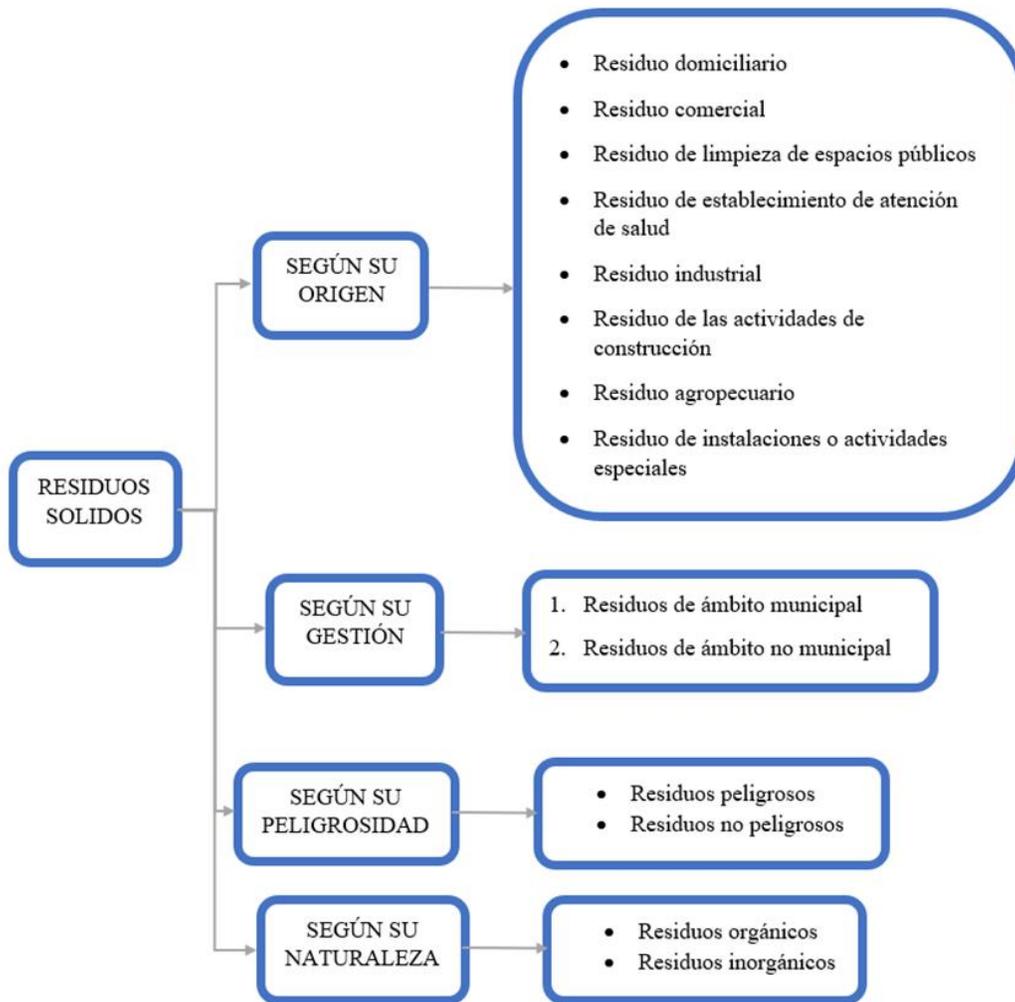
1.2 Residuos sólidos

Los residuos sólidos se denominan como sustancias, productos o subproductos que pueden ser de tipo orgánico o inorgánico, que se encuentran en estados sólido o semisólido de los que su generador (persona natural o jurídica que en pro de sus actividades genera residuos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario) dispone, o debe disponer adecuadamente según la normatividad nacional o para evitar algún tipo de riesgo que se pueda generar en contra de la salud o el medio ambiente, es decir los residuos sólidos son todas las sustancias que se pueden conocer coloquialmente como “basura” pero que en ocasiones pueden ser aprovechados de otra forma. Cabe resaltar que dentro de los residuos sólidos se pueden incluir los residuos generados por eventos naturales como por ejemplo los generados en derrumbes o precipitaciones. (Contreras, 2016, pág. 10)

Debido a que existen muchas formas de generar residuos sólidos, estos se clasifican de acuerdo a lo mostrado en la Imagen 2:

Figura 2.

Clasificación de residuos sólidos



Nota. En la imagen se muestra la clasificación de residuos sólidos según su origen, su gestión, su peligrosidad y su naturaleza. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la clasificación presentada en la imagen 2 se establece que los residuos sólidos obtenidos de la finca “El Rubí” son clasificados según su naturaleza, puesto que todos los residuos son de naturaleza orgánica.

1.2.1 Clasificación.

1.2.1.a Según su origen.

Los residuos clasificados por su origen, como lo indica esta palabra son separados según de donde sea el residuo o basura o el uso que se le haya dado en su parte útil. Según la OEFA (2013-2014, pág. 196) pueden ser de los siguientes orígenes:

❖ **Residuo domiciliario:** Son aquellos que se generan a partir de las actividades domésticas realizadas en los domicilios u hogares. Entre estos se encuentran los restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y entre otro (Ambiental-OEFA, 2013-2014). En la Imagen 3 se puede observar una clasificación más detallada:

Figura 3.*Clasificación de residuos domiciliarios*

Tipo	Ejemplos
Orgánico	Restos putrescibles, como restos vegetales, provenientes generalmente de la cocina, como cáscaras de frutas y verduras. También los excrementos de animales menores.
Papel	Hojas de cuadernos, revistas, periódicos, libros.
Cartón	Cajas, sean gruesas o delgadas.
Plásticos	<p>Existe una gran diversidad de plásticos, los cuales se encuentran agrupados en siete tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET (polietileno tereftalato): botellas transparentes de gaseosas, cosméticos, empaques de electrónicos. • HDPE o PEAD (polietileno de alta densidad): botellas de champú, botellas de yogur, baldes de pintura, bolsas de electrónicos, jabs de cerveza, bateas y tinas. • PVC (cloruro de polivinilo): tubos, botellas de aceite, aislantes eléctricos, pelotas, suela de zapatillas, botas, etc. • LDPE - PEBD (polietileno de baja densidad): bolsas, botellas de jarabes y pomos de cremas, bolsas de suero, bolsas de leche, etiquetas de gaseosas, bateas y tinas. • PP (polipropileno): empaques de alimentos (fideos y galletas), tapas para baldes de pintura, tapas de gaseosas, estuches negros de discos compactos. • PS (poliestireno): juguetes, jeringas, cucharitas transparentes, vasos de tecnopor, cuchillas de afeitador, platos descartables (blancos y quebradizos), casetes. • ABS (poliuretano, policarbonato, poliamida): discos compactos, baquelita, micas, carcavas electrónicas (computadoras y celulares), juguetes, piezas de acabado en muebles.
<i>Fill</i>	Envolturas de <i>snack</i> , golosinas.
Vidrio	Botellas transparentes, ámbar, verde y azul, vidrio de ventanas.
Metal	Hojalatas, tarro de leche, aparatos de hierro y acero.
Textil	Restos de tela, prendas de vestir, etc.
Cuero	Zapatos, carteras, sacos.
<i>Tetra pack</i>	Envases de jugos, leches y otros.
Inertes	Tierra, piedras, restos de construcción.
Residuos de baño	Papel higiénico, pañales, toallas higiénicas.
Pilas y baterías	De artefactos, juguetes y de vehículos, etc.

Nota. Esta imagen muestra la clasificación de residuos domiciliarios y algunos ejemplos de cada uno. Tomado de (Internacional, 2008, pág. 168)

- ❖ **Residuo comercial:** Se definen como aquellos residuos que se generan en establecimientos comerciales de bienes y servicios como lo son los centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, oficinas de trabajo, entre otras actividades comerciales y laborales análogas, en su mayoría, se componen por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

- ❖ **Residuo de limpieza de espacios públicos:** Estos son todos los residuos generados a partir de los servicios de limpieza y el barrido de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas, independientemente del proceso de limpieza utilizado, sin importar si son realizados de forma manual o con algún equipo especial. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

- ❖ **Residuo de establecimiento de atención de salud:** Este tipo de residuos se generan por actividades realizadas en atención e investigación médica, su característica principal es que están contaminados con agentes infecciosos o generalmente contienen altas concentraciones de microorganismos potencialmente peligrosos, algunos ejemplos de estos son agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos y material de laboratorio, este tipo de elementos se pueden encontrar en hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

- ❖ **Residuo industrial:** Los residuos industriales pueden ser peligrosos o no peligrosos, según la industria de donde provengan como por ejemplo la manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares, entre algunos tipos de residuos de este origen se encuentra lodo, ceniza, escoria metálica, vidrio, plástico, papel, cartón, madera, fibra, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

- ❖ **Residuo de las actividades de construcción:** Como su nombre lo dice son aquellos residuos generados por acciones o procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructuras, son de tipo inerte y suelen darse por

la destrucción o demolición de infraestructuras como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

❖ **Residuo agropecuario:** Son todo tipo de residuos que se genera por el desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, incluyendo donde se manejen envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos y cualquiera que se relacione. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

❖ **Residuo de instalaciones o actividades especiales:** Este tipo de residuo se generan a partir de grandes infraestructuras que son complejas y que tienen riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como plantas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras; o de aquellas actividades públicas o privadas que movilizan recursos humanos, equipos o infraestructuras, en forma eventual, como conciertos musicales, campañas sanitarias u otras similares. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

1.2.1.b Según su gestión.

Otra forma de clasificación descrita por la OEFA (2013-2014, pág. 196) es por la gestión que se le da a cada residuo sólido, dependiendo si es municipal o no municipal.

❖ **Residuos de gestión municipal.** Este tipo de residuos se generan por comercios, domicilios o cualquier actividad similar a esta, cuya gestión es deber de las municipalidades, teniendo en cuenta que esta responsabilidad empieza cuando el generador entrega los residuos a los operarios de la entidad responsable, o en algunos casos cuando los residuos son puestos en el lugar señalado por la entidad. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

❖ **Residuos de gestión no municipal.** Son todos los residuos que se dan a partir de procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal, a diferencia de la gestión municipal, este tipo de residuos tienen la disposición final en rellenos de seguridad que son de dos tipos: Relleno de seguridad para residuos peligrosos, en donde se podrán manejar también residuos no peligrosos y Relleno de seguridad para residuos no peligroso. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

1.2.1.c Según su peligrosidad.

La tercera clasificación explicada por la OEFA (2013-2014, pág. 196) es por la peligrosidad y se dividen en:

❖ **Residuos peligrosos.** Este tipo de residuo como su nombre lo indica son aquellos que por sus características o su manejo representan un riesgo significativo para la salud del medio ambiente o directamente de las personas, algunos de los riesgos más comunes presentan las siguientes características: auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

❖ **Residuos no peligrosos.** Por otro lado, los residuos no peligrosos son los que tienen características que no representan ningún riesgo importante para la salud del ambiente o de las personas. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

1.2.1.d Según su naturaleza.

Finalmente, según la OEFA (2013-2014, pág. 196) de forma general los residuos sólidos se clasifican en dos grandes grupos:

❖ **Orgánicos.** El primer tipo de clasificación es el orgánico y se caracteriza por ser de origen biológico (vegetal o animal), se descomponen de forma natural, generando gases como dióxido de carbono y metano, entre otros y lixiviados en los lugares donde se hace el tratamiento y disposición final. Una forma de reaprovechar estos residuos es por un tratamiento especial, obteniendo fertilizantes o mejoras de suelo como lo son el compost, humus, abono, entre otros. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

❖ **Inorgánicos.** Por el contrario, los residuos inorgánicos son de origen mineral o producido industrialmente los cuales son difíciles de degradar. Este tipo de residuos generalmente se reaprovechan mediante procesos de reciclaje. (Ambiental-OEFA, 2013-2014)

1.2.2 El manejo de los residuos sólidos.

Los bienes y productos al pasar los años han disminuido su vida útil significativamente, debido a los cambios de hábitos que han tenido las personas en su consumo, generando mayor cantidad

de residuos sólidos. Por estas razones se han generado desequilibrios entre el ecosistema y los residuos generados por actividades humanas, logrando provocar impactos negativos en el ambiente, por lo cual se debe gestionar de forma correcta antes de llegar a la disposición final. En el caso de ser residuos que tienen comisión municipal se puede gestionar en la propia municipalidad y por una entidad prestadora de servicios de residuos sólidos (EPS-RS) contratada por ella, como empresa privada o mixta, y debe desarrollarse de manera sanitaria y ambientalmente adecuada.

Basados en la información obtenida de la OEFA (2013-2014, pág. 196) el manejo de los residuos sólidos se encuentra compuesto por las siguientes etapas:

1.2.2.a Generación.

El primer paso del manejo de residuos es cuando se producen como resultado de algún tipo de actividad humana o industrial, estos pueden dar por actividades cotidiana, comerciales o por servicios prestados.

1.2.2.b Segregación en fuente.

El segundo paso se basa en la agrupación según las características físicas de los distintos tipos de residuos sólidos recolectados, para ser manejados según dichas características, de esta forma se logra facilitar el aprovechamiento, tratamiento comercialización de los residuos mediante la separación sanitaria y segura de sus componentes. Este procedimiento sólo se permite en la fuente de generación y en la instalación de tratamiento operada por una EPS-RS o una municipalidad, certificando que sea una operación autorizada, o respecto de una EC-RS cuando se encuentre prevista la operación básica de acondicionamiento de los residuos previa a su comercialización.

1.2.2.c Almacenamiento.

Es la etapa donde se realiza la acumulación temporal de los residuos recolectados y separados de acuerdo a las técnicas establecidas para dar una mejor disposición final.

1.2.2.d Comercialización de residuos sólidos.

Como su nombre lo indica es la etapa en donde por medio de las empresas comercializadoras de residuos sólidos (EC-RS) autorizadas por DIGESA (La Dirección General de Salud Ambiental), disponen los residuos provenientes de la segregación para poder comprar y venderse.

1.2.2.e Recolección y transporte.

La recolección y transporte es un proceso muy importante debido a que se debe hacer por medio de una locomoción apropiada sin que los residuos se vean afectados, de esta forma podrá seguir su proceso correspondiente de una forma segura y sanitaria, logrando disminución en el daño ambiental. Se puede realizar de distintas maneras:

- ❖ Convencional, a través del uso de compactadoras debidamente equipadas
- ❖ Semiconvencional, realizada a través del uso de volquetes o camiones
- ❖ No convencional, mediante el uso de carretillas, triciclos, moto furgonetas entre otros.

1.2.2.f Transferencia.

Después de ser almacenado y transportado el material se hace el proceso de transferencia que consiste en descargar y almacenar temporalmente los residuos, para continuar con su transporte en unidades de mayor capacidad hacia un lugar autorizado para la disposición final. La transferencia se debe realizar en instalaciones adecuadas las cuales no deben estar en áreas de zonificación residencial, comercial o recreacional, además que no puede permanecer gran cantidad de tiempo en las mismas por qué puede ocurrir descomposición. Existen 2 tipos de transferencia:

- ❖ Descarga directa: hacia vehículos denominados camiones madrina.
- ❖ Descarga indirecta: en una zona de almacenamiento y, con ayuda de maquinaria adecuada, son llevados a instalaciones de procesamiento o compactación. La transferencia de residuos logra optimizar los costos de transporte, el uso de los vehículos de recolección y el flujo de transporte

1,2.2.g Tratamiento.

Esta técnica se basa principalmente en modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, reduciendo o eliminando las sustancias peligrosas que ocasionen daños al medio ambiente o a la salud. Además, que se pueden encontrar técnicas para reaprovechar los residuos, facilitando la disposición final en forma eficiente, segura y sanitaria.

1.2.2.h Disposición final.

Esta última etapa del manejo de los residuos, se considera la más importante, debido a que es como se manejaran los residuos después de realizar el respectivo proceso, buscando causar el menor impacto negativo a la salud y medio ambiente.

Por un lado, para la disposición final de residuos sólidos de gestión municipal se debe hacer mediante el método de relleno sanitario y por otro lado la disposición final de residuos del ámbito no municipal hace a partir del método de relleno de seguridad, como se había mencionado anteriormente.

1.3 Biogás

El biogás es un gas combustible que se origina principalmente por la degradación o digestión anaeróbica y se compone especialmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), además de otros gases como el hidrógeno (H_2) y el sulfuro de hidrógeno (H_2S). El porcentaje (en volumen) de metano contenido en el biogás puede variar desde 55% o 60% mínimo, hasta un máximo de alrededor 70%, por lo que su poder calorífico inferior que depende de la cantidad de metano, puede variar de 4700 a 5500 kcal /m³ o de 5 a 7 kWh/m³. Como se muestra a continuación en la Imagen 4. (Palacios, 2016)

Figura 4.

Características generales del biogás

Composición	55 – 70% metano (CH_4) 30 – 45% dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH_4 mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Nota. En esta imagen se evidencian las principales características del biogás.

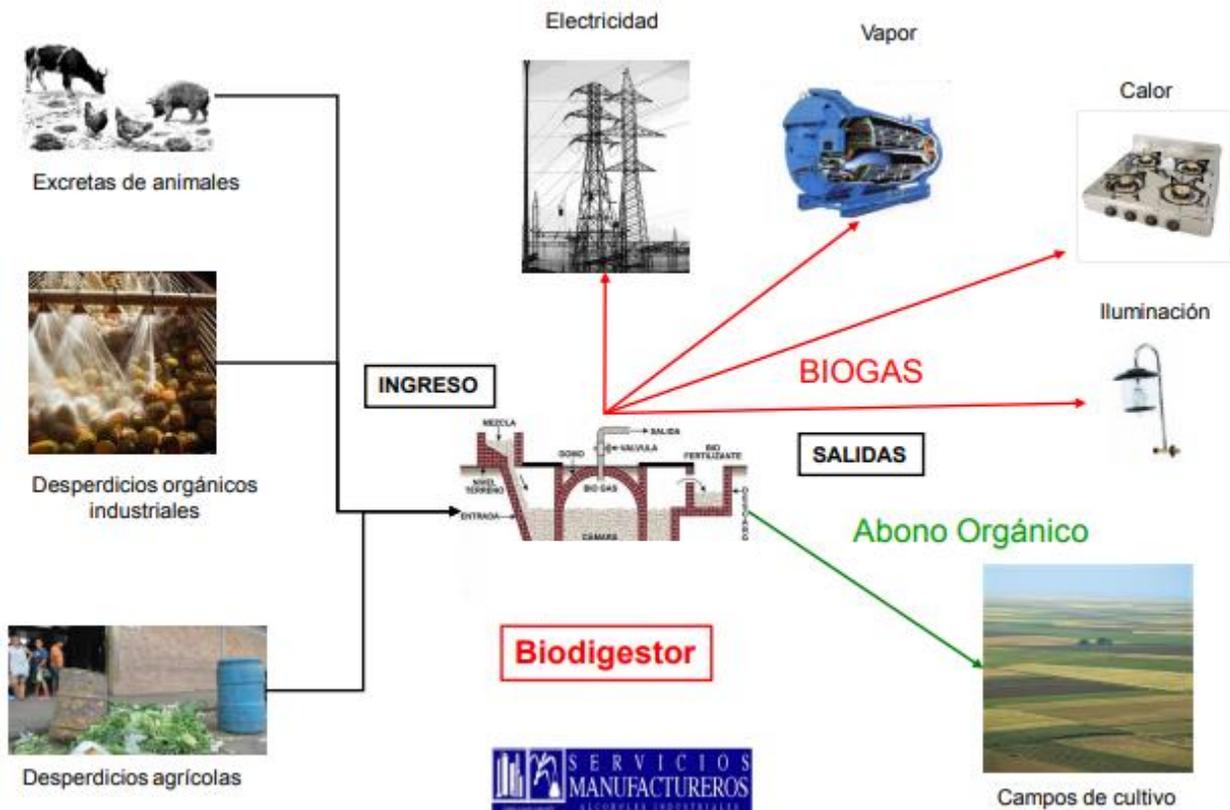
Tomado de: (Deublein & Steinhauser, 2008)

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 puede tener distintos

funcionamientos, por ejemplo, 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 adaptada. Como se muestra a continuación en la Imagen 5. (INDUSTRIALES)

Figura 5.

Esquema básico de la producción de biogás



Nota. En esta imagen se muestran los distintos funcionamientos en que se puede emplear el biogás. Tomado de: (INDUSTRIALES)

1.3.1 Etapas de generación de biogás.

El Ministerio de Energía de Chile¹³ - Minenergía en conjunto con la FAO y el PNUD propuso en el año 2011 el Manual del Biogás, en este mencionan 4 etapas que se llevan a cabo durante la generación de biogás:

1.3.1.a Etapa de Hidrólisis

Es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

Esta etapa puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, es un proceso dependiente de muchos factores, como lo son la temperatura, de la composición bioquímica del sustrato, del tamaño de partículas, del tiempo de retención hidráulico, del nivel de pH y de la concentración de NH_4^+ y de los productos. (Moreno, 2011)

1.3.1.a Etapa fermentativa o acidogénesis

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema.

Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos. (Moreno, 2011)

1.3.1.b Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas. (Moreno, 2011)

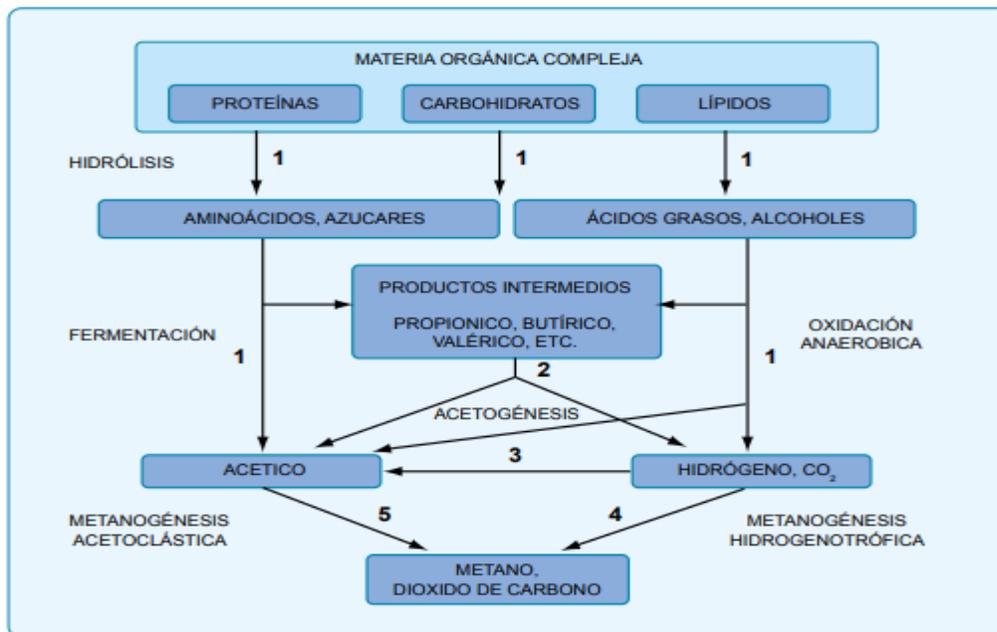
1.3.1.c Etapa metanogénica

Por último, en esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del grupo de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 / CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. (Moreno, 2011)

En la Imagen 6 se muestran las 4 etapas explicadas anteriormente para la generación de biogás. Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: (1) bacterias fermentativas; (2) bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; (3) bacterias homoacetogénicas; (4) bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; (5) bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Figura 6.

Esquema de reacciones de la digestión anaeróbica de materiales poliméricos.



Nota. En esta imagen se muestran las 4 etapas para la generación de biogás.

Tomado de: (Moreno, 2011)

1.3.2 Aplicaciones del biogás.

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Las más comunes dentro de todas sus aplicaciones debido a que se optimiza su uso son las siguientes:

1.3.2.a Producción de calor o vapor.

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica. En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar, calentar agua y en sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente cambiando la relación aire-gas para operar con biogás. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H₂S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C. (Moreno, 2011)

1.3.2.b Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad

Según la información obtenida de María teresa (MANUAL DE BIOGAS, 2011, pág. 119) los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual es secundario utilizándose para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir una de las funciones sea electricidad o calor. Las turbinas de gas se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son más comúnmente usados en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S y vapor de agua.

1.3.2.c Combustible para vehículos

Uno de los usos menos comunes pero que podría ser más útil en el cuidado del medio ambiente, es el uso del biogás en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión. Por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. Sin embargo, esta aplicación tiene problema en cuanto al

autoabastecimiento, el tipo de motor para su combustión y falta de redes de abastecimiento. (Moreno, 2011)

1.4 Biodigestores

Un biodigestor básicamente consiste en un depósito cerrado, donde se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua para ser digeridos por microorganismos. El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en este mismo depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como, por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento. La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo. (Lagrange, 1979)

De acuerdo con esto existen dos tipos en que se dividen los biodigestores de forma general:

1.4.1 Biodigestores tradicionales.

Los biodigestores tradicionales son los que se pueden construir de manera rústica, sin necesidad de adquirir materiales muy caros. Entre los más importantes, tenemos el de domo flotante, domo fijo y el de estructura flexible. (Gonzales E. , Castillo, Correa, & Retto, 2017)

1.4.2 Biodigestores industriales.

De manera industrial, se emplean tanques de metal para el almacenamiento de la materia orgánica y del gas por separado, debido a su gran volumen de materia orgánica que se necesita para garantizar la producción de biogás. Para mejorar el funcionamiento de la planta de biogás, se utilizan bombas para poder desplazar el material orgánico hacia el biodigestor y, de igual manera, desplazar el biofertilizante hacia el tanque de almacenamiento. Además, se utilizan sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás para poder garantizar que lleguen hacia el último consumidor. (Gonzales E. , Castillo, Correa, & Retto, 2017)

1.5 Política

Los conceptos políticos darán el conocimiento de las normas que rigen la parte ambiental del proyecto, teniendo en cuenta los beneficios que trae al medio ambiente utilizar un biodigestor, proporcionando energía más limpia.

1.5.1 Desarrollo sostenible.

En 1987 se define por primera vez el desarrollo sostenible en el informe Nuestro Futuro Común, como la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (Brundtland, 1987)

En septiembre del 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprueba la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el cual, se exponen 17 Objetivos de desarrollo sostenible, que se muestran en el Imagen 7.

Figura 7.

Objetivos de Desarrollo Sostenible



Nota. En esta imagen se exponen los 17 Objetivos de desarrollo sostenible. Tomado de: (ONU, 2015)

1.5.1.a Séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible.

Según el PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD (Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante), para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible para 2030, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal y mejorar la productividad energética.

Según el PNUD, Expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con energía limpia en todos los países en desarrollo, es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medio ambiente. A si como para el cumplimiento de este objetivo, se deben cumplir las siguientes metas:

- ❖ De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
- ❖ De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- ❖ De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- ❖ De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles.
- ❖ De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

1.5.2 Otras normas.

A continuación, se mencionarán algunas de las normas aplicables a la producción de biogás en Colombia.

1.5.2.a Ley 1715 de 2014.

Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

1.5.2.b Ley 9 de 1979.

Por la cual se dictan medidas sanitarias

1.5.2.c Documento CONPES 3874 de 2016.

POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.

1.5.2.d Resolución 135 de 2012.

Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás.

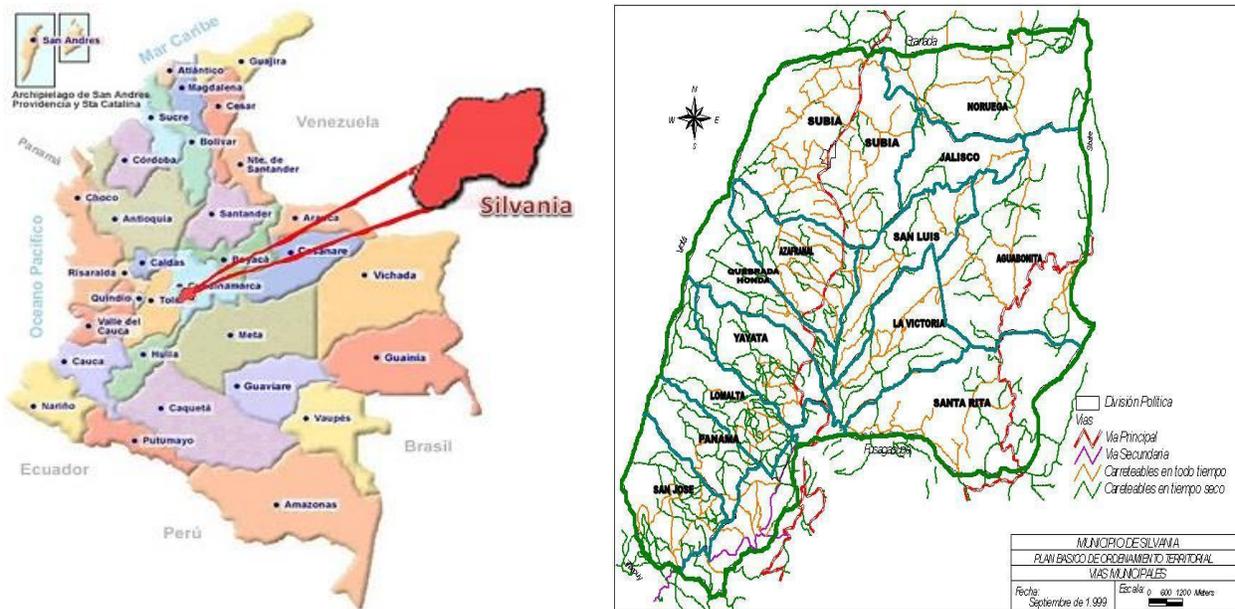
2. IDENTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA Y GANADERA EN LA FINCA “EL RUBÍ”

2.1 Generalidades del municipio

Según la ALCALDIA MUNICIPAL, Silvania es un municipio colombiano del departamento de Cundinamarca, ubicado en la Provincia del Sumapaz, se encuentra enmarcado dentro las siguientes coordenadas geográficas: 4° 24' 13" latitud Norte y 74° 23' 15" longitud Oeste a 44 km de Bogotá, tiene una extensión territorial de 163 km² divididos en área urbana con 7.48 km² y área rural con 155.44 km², con una población de 21269 habitantes.

Figura 8.

Ubicación del municipio de Silvania Cundinamarca



Nota. En esta imagen muestra la ubicación del municipio de Silvania dentro de Colombia, y también se muestran las principales veredas existentes. Tomado de (MUNICIPIOS DE COLOMBIA, s.f.)

Silvania cuenta con un relieve ondulado a semi-escarpado, siendo enmarcado en su sector oriental por la cordillera de San Miguel y en el occidental por la cuchilla de Peñas Blancas, conformando de esta manera el pequeño Valle de la Prosperidad y la entrada al Valle de los Sutagaos. La geografía montañosa de su territorio establece varios pisos térmicos que lo matizan.

Cuenta con una precipitación promedio anual de 1653 mm y humedad relativa de 80% y una franja altitudinal entre los 1200 y 2700 msnm, el mes de mayor precipitación es noviembre con un valor total de 211.2 m²/año y el mes más seco es agosto con un total de 58.1 m²/año. (Castrellón, 2014)

Silvania limita con 4 municipios principalmente como lo muestra la Imagen 9 a continuación:

Figura 9.

Municipios que limitan con Silvania



Nota. En esta imagen se muestra los municipios con que limita Silvania. Tomado de (MUNICIPIOS DE COLOMBIA, s.f.)

2.1.1 Economía del municipio.

El municipio posee una vocación netamente agrícola y pecuaria, ocupando la primera un 18.7% del territorio del municipio y la segunda un 39.6%. El café, la mora y el tomate de árbol son los principales productos (Alcaldía Municipal de Silvania, s.f.). También hace parte de los municipios que aportan significativamente a que Sumapaz sea la quinta provincia con mayor producción de litros de leche por día: 7.3% de la producción de Cundinamarca, debido a que La mayor producción de ganado bovino y porcino de la provincia se localizó en los municipios de Fusagasugá y Silvania. En cuanto a la formación de empresa, La mayor proporción de empresas se localizó en el municipio de Fusagasugá (84.8%) seguido por Silvania (5.7%), es decir, 225 empresas de las 3936 que tiene la Provincia Sumapaz las cuales en el Registro mercantil reportaron actividades relacionadas con el comercio exterior. (Ayala Ramirez, 2005)

La actividad empresarial del municipio de Silvania se concentró principalmente en los sectores: comercio y reparación de vehículos automotores con una participación del 52.4% del total municipal, industrias manufactureras (13.3%); hoteles y restaurantes (13.3%); agricultura (7.6%) y transporte, almacenamiento y comunicaciones (6.2%). Así mismo la actividades económicas más

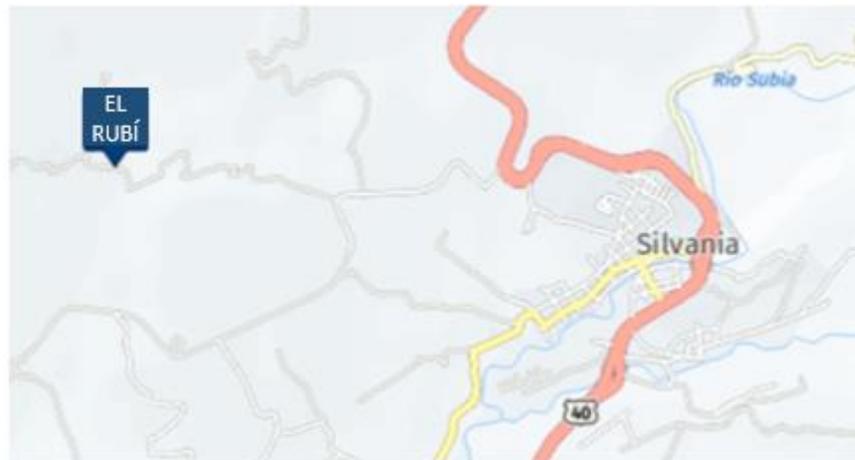
representativas de Silvania fueron: el comercio al por menor, en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente de alimentos (víveres en general), bebidas y tabaco, el expendio a la mesa de comidas preparadas en restaurantes y cafeterías, y los servicios telefónicos. (Ayala Ramirez, 2005)

2.2 Características de la finca “el Rubí”

La finca se encuentra ubicada a 4 kilómetros de la vía principal que comunica la capital con el municipio de Silvania, como se muestra en la Imagen 10, en lo que corresponde a la vereda Loma Alta Central, esta cuenta con 6 hectáreas, las cuales, 3 están divididas en potreros para el uso de la actividad pecuaria, 2 para cultivos de café y la restante para desempeñar labores agrícolas.

Figura 10.

Ubicación de la finca "El Rubí"



Nota. En esta imagen se muestra la ubicación exacta de la finca "El Rubí" en la vereda Loma Alta. Elaboración propia.

Figura 11.

Entrada a la finca "El Rubí"



Nota. En esta imagen se muestra la entrada a la finca "El Rubí".

Elaboración propia.

Cuenta con alrededor de 360m² construidos, como se muestra en la Imagen 12, distribuidos en cuatro dormitorios, dos salas, tres corredores, un cuarto de materiales, un cuarto de juegos, un cuarto de leña, una cocina de leña, dos tanques de reserva de agua, proveniente de un nacedero comunitario de la vereda Loma Alta y un quiosco.

Figura 12.

Estructura construida de la finca "El Rubí"



Nota. En esta imagen se muestra la mayor parte del terreno construido en la finca "El Rubí".
Elaboración propia.

Es importante destacar que la fuente de energía principal para la preparación de alimentos tanto para el consumo de las personas que habitan la finca, como para los animales que residen en la misma, proviene de la estufa de leña que se muestra en la Imagen 13. Por lo que, la generación de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos, sería un aspecto importante a tener en cuenta para mejorar la calidad de vida de las personas que habitan la misma.

Figura 13.

Estufa de leña de la finca "El Rubí"



Nota. En esta imagen se muestra la estufa de leña utilizada por los habitantes de la finca “El Rubí”. Elaboración propia.

En la finca habitan alrededor de siete personas constantemente, adicional de los trabajadores que usualmente visitan la finca, que pueden ser dos por día, además hay diez perros, también se cuenta con cinco vacas, cinco terneros y un caballo.

Como se puede ver, la finca no tiene una actividad principal en cuanto a su desarrollo ya que se dedica tanto al ganado lechero como a la producción de café, que son las dos actividades principales, pero también tiene algunos árboles frutales como lo son: guayaba, limón, naranja, mandarina y guanábana, y también, la producción de plátano, banano, arracacha y yuca.

2.2.1 Procesos productivos.

Como fue mencionado anteriormente en la finca “El Rubí” se llevan a cabo varios procesos productivos unos más importantes en cuanto a su demanda de actividad y otros que dependen de su temporada de cosecha, que va ser en el tiempo en que necesitaran una mayor actividad debido

a su gran afluencia de producto. A continuación se describirá cada proceso productivo de acuerdo a su demanda de actividad:

2.2.1.a Ordeño.

El ordeño es la actividad que sin duda requiere mayor tiempo, debido a que es un proceso que se realiza diariamente. Desde que comienza el día, a las 6:00 de la mañana es llevado el ganado al establo donde se llevara a cabo el ordeño, cada vaca produce alrededor de 13 a 16 litros de leche. Posterior al ordeño, se les da una comida de pasto picado, previamente obtenido de un sector de la finca, acompañado de sal, y posteriormente se suelta en un área de pastoreo donde pastan y descansan el resto del día. En la tarde se suministra otra comida que puede ser caña o vástago de plátano picado. Para terminar antes del anochecer es necesario separar a las vacas de sus respectivos terneros, esto con el fin que al día siguiente se asegure la obtención de la leche.

Figura 14.

Ganado lechero de la finca "El Rubí"



Nota. En esta imagen se muestra el ganado lechero dentro del establo previo el proceso de ordeño. Elaboración propia.

2.2.1.b Café.

El café es un proceso de muchísima demanda mientras este se encuentre en su temporada de cosecha, es decir entre los meses de mayo a agosto, ya que requiere de días enteros para su recolección, esta consta de recolectar las pepas de café maduras, es decir las de color rojo o amarillo dependiendo el caso, desde el árbol manualmente, es por esto que se hace tan demorada esta parte del proceso, puede llegar a durar cuatro días completos con seis personas recolectándolo.

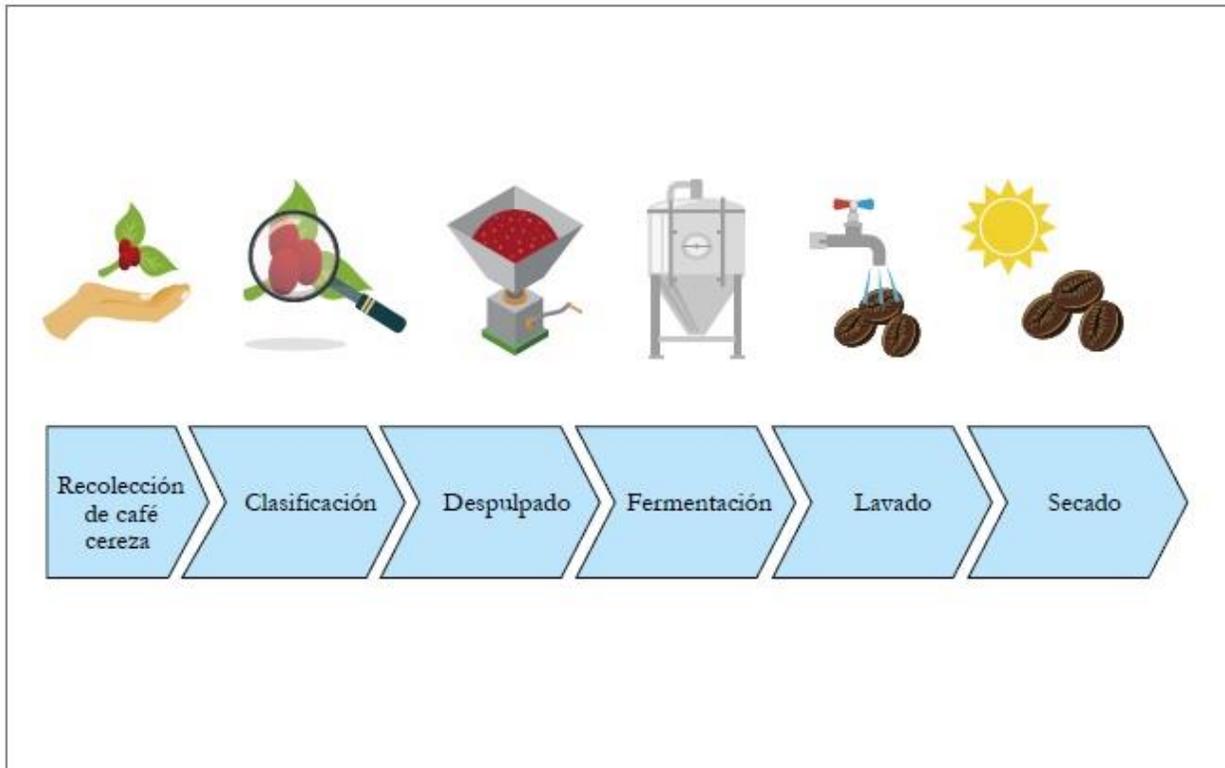
Una vez el café se encuentre recolectado completamente se debe descerezar, este proceso consiste en retirar la primera cascara que recubre el café, posteriormente se debe lavar para retirar algunas impurezas y babosidad, esto se logra sacudiendo el café en costales mientras se rocía agua a presión sobre él. Luego es extendido preferiblemente al sol para su secado, proceso que puede tardar de 5 a 10 días dependiendo el clima.

Cuando el café ya se encuentra totalmente seco es molido para eliminar la última cascara que recubre el grano, en este proceso a diferencia del descerezado la cascara no es separada del grano por lo que se debe soplar el café para así poder retirar la cascara del grano. Una vez obtenido el grano deberá ser tostado, esto se lleva a cabo en calderos gigantes que son puestos en la estufa de leña, allí se revuelve el café aproximadamente 30 minutos a fuego muy alto para obtener el color característico del café.

Por último, el café es enfriado una vez haya sido tostado, para posteriormente ser molido y con esto convertirlo en polvo como es comúnmente conocido, ya en polvo es almacenado en bolsas selladas y pesadas en una libra para después ser vendido.

Figura 15.

Proceso productivo del café



Nota. En esta imagen se muestra el proceso completo que se lleva a cabo para la producción del café desde su recolección hasta el secado. Elaboración propia.

2.2.1.c Árboles frutales.

La producción de los árboles frutales también se lleva a cabo en temporada de cosecha esto depende de cada grupo de frutas, como ya se mencionó anteriormente se producen diferentes tipos de frutas cada una de estas tiene un periodo de cosecha que oscila alrededor de tres meses cada una, esta actividad no requiere de mucho tiempo ya que solo se necesita de tres a cuatro horas cada tres días, para recolectar el fruto de los árboles y no se necesita llevar a cabo ningún otro proceso, solamente escoger la fruta que se comercializara y la que se dejará para el consumo de la finca.

2.2.1.d Otros productos.

En estos están enmarcados todos los productos que no tienen una cosecha si no que por el contrario dependen del tiempo en que fueron sembrados y que darán el paso a seguir de acuerdo a

su producción, estos al igual que los árboles frutales solo se escoge los productos que se comercializaran y los que se consumirán en la finca.

2.2.2 Generación de residuos sólidos orgánicos.

La generación de residuos sólidos orgánicos como se ha podido ver en los procesos de producción es considerable a continuación se especificara la cantidad promedio de residuos que se generan semanalmente por cada uno de los procesos de producción que se llevan a cabo en la finca.

2.2.2.a Ordeño.

En este proceso productivo se cuenta con un pozo creado por los habitantes de la finca donde se hace la recolección de los residuos sólidos generados por el ganado diariamente. Se estima que dicho pozo posee unas dimensiones de 2.5 metros de profundidad, 1.5 metros de ancho y 1.5 metros de largo. Se realizó un seguimiento durante dos meses generando una cuantificación semanal de los residuos sólidos obtenidos y se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.

Cuantificación semanal de residuos sólidos obtenidos en el proceso de ordeño

Semana	Medidas Pozo	m³ / semana
1	1.5x1.5x1.9	4.275
2	1.5x1.5x2.5	5.625
3	1.5x1.5x2	4.5
4	1.5x1.5x2.2	4.95
5	1.5x1.5x2.3	5.175
6	1.5x1.5x1.9	4.275
7	1.5x1.5x2.4	5.4
8	1.5x1.5x2.1	4.725

Nota. Esta tabla muestra la cuantificación semanal de residuos sólidos obtenidos en el proceso de ordeño. Elaboración propia.

Después de promediar los resultados de cada semana se obtuvo que se generan 4.9m^3 semanales. Cabe aclarar que para el propósito de esta investigación se tienen en cuenta los residuos sólidos producidos durante la fase de ordeño y la mayor cantidad de residuos que son recolectados en el área de pastoreo.

2.2.2.b Café.

El café sin duda como se puede evidenciar durante cada una de sus etapas de producción, genera gran cantidad de residuos orgánicos, debido a las capas que se retiran en los diferentes procesos (cascaras), estas son almacenadas en montañas en un lugar específico de la finca en donde actualmente son usadas como abono para los cultivos, pero las grandes cantidades de residuos que se generan hacen que muchas veces solo se dejen sin un uso eficiente nutriendo el suelo. Para el propósito de esta investigación los residuos generados en cada una de las etapas de la producción del café serán almacenados y pesados en costales para promediar el total de generación durante una semana.

Después de realizado el promedio semanal de costales recolectados, se obtuvo un total de 11 costales, y cada costal tiene un peso aproximado de 51 Kg (50 Kg de residuos orgánicos, 1 Kg el costal), para un total de desechos orgánicos de 550 Kg, que ocupan 1.9m^3 aproximadamente. Cabe aclarar que esta medición se hizo teniendo en cuenta los meses que había cosecha en la finca.

2.2.2.c Árboles frutales y otros productos.

Para efectos de la cuantificación de los residuos sólidos orgánicos generados por las frutas y demás alimentos que son usados diariamente para el consumo de los habitantes de la finca se hizo un proceso similar al del café ya que lo que vamos a utilizar son los desperdicios de dichos alimentos, es por ello que también se almacenaran en costales durante una semana para aproximar su cantidad al final de la misma.

Después de realizado el promedio semanal de costales recolectados, se obtuvo un total de 9 costales, y cada costal tiene un peso aproximado de 51 Kg (50 Kg de residuos orgánicos, 1 Kg el costal), para un total de desechos orgánicos de 450 Kg, que ocupan 1.7m^3 aproximadamente.

Figura 16.

Residuos sólidos orgánicos generados en la finca "El Rubí"



Nota. Esta imagen muestra los residuos sólidos orgánicos generados en la finca "El Rubí" y su almacenamiento. Elaboración propia.

Finalmente en la Tabla 2 se muestra un resumen de los datos obtenidos en cuanto a la cantidad de residuos sólidos generados por proceso productivo.

Tabla 2.

Cuantificación de residuos sólidos generados en la finca "El Rubí"

PROCESO	RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS
Ordeño	4.9m³
Café	1.9m³
Árboles frutales y otros productos	1.7m³
TOTAL	8.5m³

Nota. Esta tabla muestra la cuantificación total de los residuos generados en la finca "El Rubí". Elaboración propia.

3. COMPARACIÓN DE BIODIGESTORES EXISTENTES USADOS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Como se mencionó anteriormente, en el marco conceptual, existen una clasificación general de biodigestores dividido en dos, tradicionales e industriales, en ellos se encuentran cantidades de biodigestores que son comúnmente usados en los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, y son estos lo que a continuación se explicaran, para poder determinar cuál es el biodigestor más óptimo a implementar en la finca “EL Rubí”, en el capítulo 4.

3.1 Biodigestores tradicionales

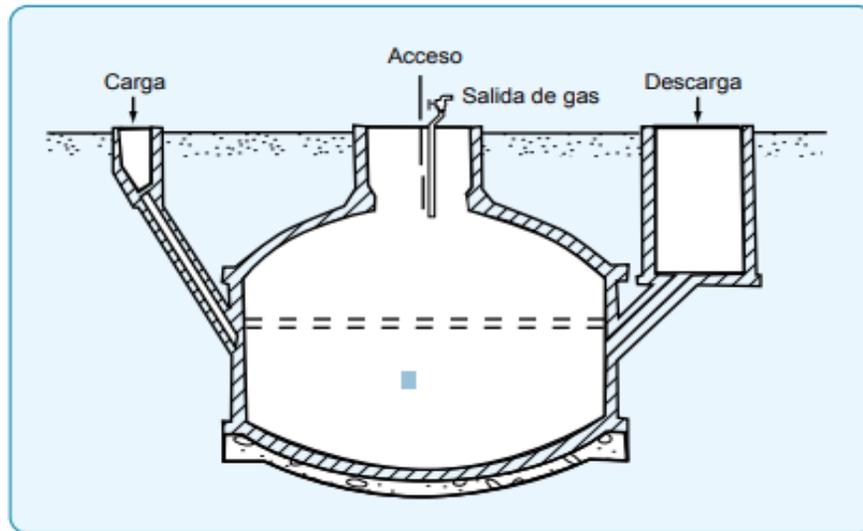
Los biodigestores tradicionales o caseros, como se había mencionado anteriormente son aquellos que se pueden construir de manera rústica y fácil, sin necesidad de adquirir materiales muy caros. Existen gran variedad de biodigestores según la necesidad y la ubicación, pero los más conocidos son el de domo flotante, domo fijo y el de estructura flexible. A continuación se describirán de una manera más detallada. (Gonzales E. , Castillo, Correa, & Retto, 2017)

3.1.1 Biodigestor de domo fijo.

Usualmente son usados en China, los biodigestores de este tipo se caracterizan por ser cilíndricos tanto en el techo como en el piso en forma de domo y son construidos bajo tierra en su totalidad, como se muestra en la Imagen 16.

Figura 17.

Biodigestor de domo fijo



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor de domo fijo.

Tomado de: (Moreno, 2011)

Para iniciar el proceso, es necesario que el digestor se llene con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor o tanque de almacenamiento, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es necesario alimentar diariamente el biodigestor con los residuos que se encuentren disponibles, que pueden ser provenientes de la letrina y del estiércol de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.

En este tipo de digestores no existe gasómetro, por lo cual el biogás producido se debe almacenar dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, se aumenta su presión de forma proporcional, forzando al líquido a subir por los tubos de entrada y salida, logrando alcanzar presiones de hasta 100 cm de columna de agua, de esta forma se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores. (Moreno, 2011)

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta o recipiente limpio donde se pueda almacenar, y una o dos veces al año el

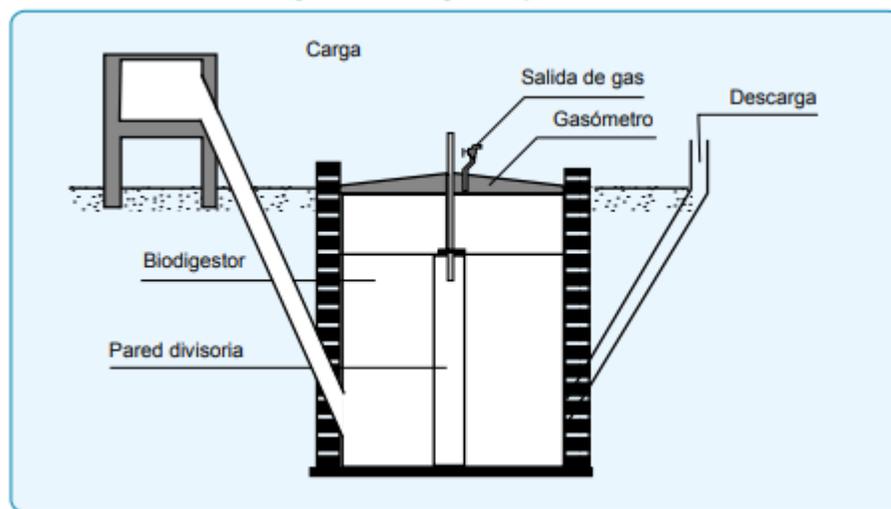
digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo para obtener un mejor producto. A pesar que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente para otros procesos como es la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino generalmente llegan a ser de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú. (Moreno, 2011)

3.1.2 Biodigestor de domo flotante.

Sus usos más comunes se dan en países como la India, suelen ser verticales y son enterrados equivaliendo a un pozo como se muestra en la Imagen 17. Su carga se da por gravedad una vez al día, el volumen de mezcla depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación estables. (Hilbert & Eppel, 2007)

Figura 18.

Biodigestor de domo flotante



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor de domo flotante. Tomado de: (Moreno, 2011)

Este tipo de biodigestor si posee un gasómetro que está integrado al sistema, el cual está en la parte superior del pozo flotando en forma de campana y es donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Por medio de esta campana se puede lograr una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta, además ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores.

Debido a que la entrada de la carga es diaria y se realiza por medio de la gravedad hasta el fondo del pozo, se produce una agitación, provocando la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para lograr un aumento en la retención de la materia prima, este tipo de biodigestores posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente. Estos digestores se identifican por presentar una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1.0 volumen de gas por volumen de digester por día. (Moreno, 2011)

3.1.3 Biodigestor de estructura flexible.

Teniendo en cuenta el alto costo que se requería para realizar los dos anteriores tipos de biodigestores ya explicados, se tuvo que recurrir a otras opciones donde la obtención de biogás fuera más fácil. Para empezar, en Taiwán los trabajadores utilizaron nylon y neopreno, pero resultaron igual de costosos. Es por esto, que luego de unos años, se comenzó a utilizar el polietileno que se muestra en la Imagen 18, el cual es el más usado actualmente en América Latina, Asia y África. (Gonzales E. , Castillo, Correa, & Retto, 2017)

Figura 19.

Biodigestor de estructura flexible o polietileno



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor de estructura flexible. Tomado de (Arenas Guayazan, 2019)

Este tipo de biodigestor se basa en una estructura tubular horizontal en cuyos extremos se sitúan las cámaras de carga y descarga del sistema. Debido a su configuración alargada se logra impedir la mezcla entre la carga líquida inicial y el efluente, por esta razón es útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado, tales como excretas de humanos y ciertos desperdicios de sacrificio de animales.

Este biodigestor, se compone de distintas partes, para empezar hay una tubería de entrada por donde se suministra la materia orgánica en forma conjunta con agua, y al final del proceso, una tubería de salida en el cual el material ya digerido por acción bacteriana abandona el biodigestor. Los materiales que ingresan son denominados afluentes y los que abandonan el biodigestor se denominan efluentes. El proceso de digestión que ocurre dentro del biodigestor ayuda a liberar la energía química contenida en la materia orgánica, convirtiéndola en biogás. (Rodríguez Ramon, 2012)

Estos tipos de biodigestores, como se mencionaba anteriormente, tienen diversas ventajas, una de las primordiales es su bajo costo y fácil transporte, debido a su bajo peso, en especial en aquellos

sitios de difícil acceso. Adicionalmente, su larga vida útil puesto que estos biodigestores tienen un promedio de vida de 10 a 15 años, en el caso que se presente rupturas pueden ser fácilmente reparadas y que posee altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Por otro lado, como todas los equipos posee desventajas, las principales de este tipo de digestor se encuentra que su alta susceptibilidad a ser dañado a pesar de su fácil reparación, baja generación de empleo y por lo tanto limitado potencial de autoayuda. (Gonzales E. , Castillo, Socorro Correa, & Retto , 2017)

3.2 Biodigestores Industriales

En el caso de los biodigestores industriales para producción de biogás, se pueden tener unas estructuras más grandes y visibles ya que están sobre la superficie, utilizan dos tanques metálicos para almacenar por un lado la materia orgánica y por otro lado el Biogás, manteniendo siempre estos elementos separados como se puede observar en la Imagen 19.

Figura 20.

Biodigestor industrial



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor industrial. Tomado de (Rodríguez Ramon, 2012)

En este tipo de planta, es necesario implementar grandes estanques de ladrillo y hormigón que servirán para almacenar la gran cantidad de materia orgánica que se necesitara para garantizar una buena producción de biogás y además del biofertilizante obtenido que podrá usarse para distintos fines.

Para lograr mover el material orgánico desde los estanques a los biodigestores y el biofertilizante de los biodigestores a los tanques de almacenamiento, es necesario usar un sistema de bombeo con la suficiente fuerza para el correcto funcionamiento de todo el proceso. También es importante utilizar sistemas de compresión en los tanques de almacenamiento de biogás con vistas a lograr que éste llegue hasta el último consumidor. (Rodríguez Ramon, 2012)

Por otro lado, para evitar los malos olores es común usar filtros que separan el gas sulfhídrico del biogás evitando contaminaciones cruzadas, además de utilizarse válvulas de corte y seguridad, redes de tuberías para unir todo el sistema y hacerlo funcionar según las normas para este tipo de instalación.

3.3 Otros Biodigestores

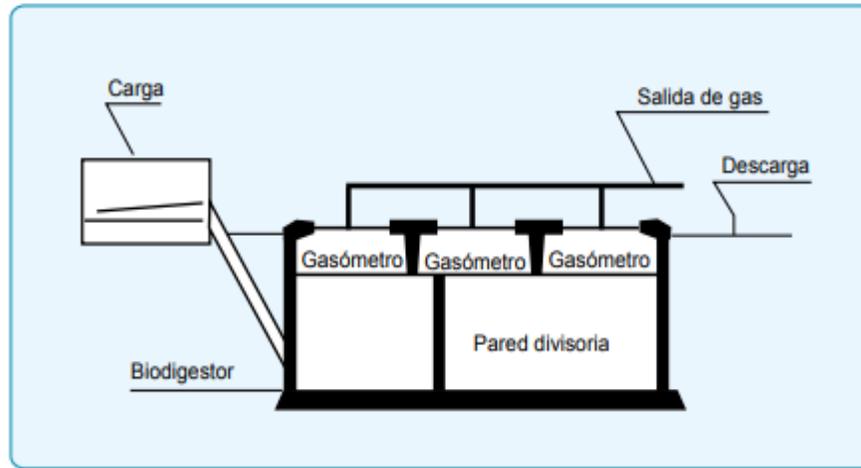
3.3.1 Biodigestores horizontales.

Estos digestores se caracterizan por una forma horizontal que se encuentra generalmente enterrada, son poco profundos y alargados, similares a un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. Su funcionamiento se basa en un régimen semi-continuo, en donde la carga entra por un extremo del digestor y los lodos obtenidos salen por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.

Son usados comúnmente cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical presenta dificultades debido a las dimensiones.

Figura 21.

Biodigestor horizontal



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor horizontal.

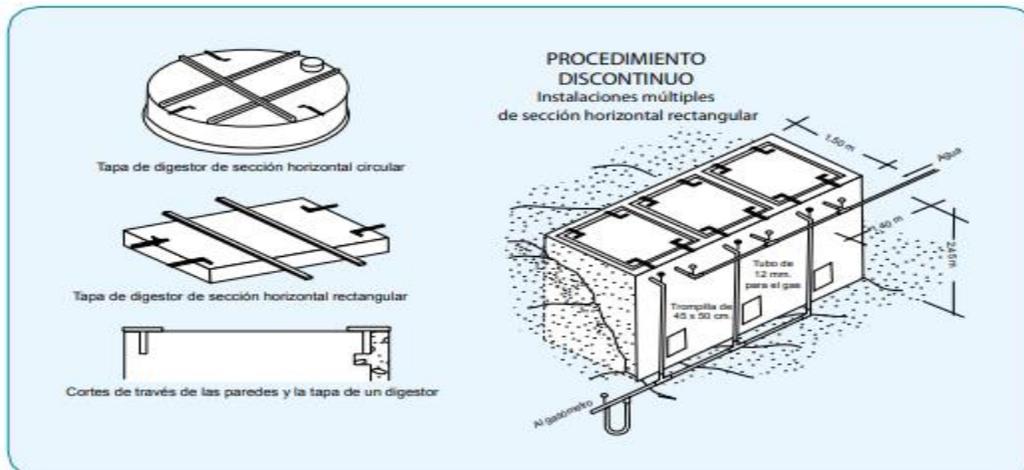
Tomado de: (Moreno, 2011)

3.3.2 Biodigestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).

Este tipo de digestor se elabora a partir de una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada a gasómetro flotante, donde se almacena el biogás como se muestra en la Imagen 21. (Mandujano, Felix, & Martinez, 1981)

Figura 22.

Biodigestor discontinuo o Batch



Nota. Esta imagen muestra el esquema de biodigestor tipo Batch. Tomado de:

(Moreno, 2011)

Estos digestores basan su funcionamiento en tener siempre una parte en producción y una estacionaria, de esta forma uno de ellos estará en carga o descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás, dicha alimentación del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuos) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás.

El uso de este sistema discontinuo solo es aplicable en situaciones particulares, por ejemplo, cuando las materias primas presentan problemas de manejo en un sistema semi continuo y continuo, o por otro lado si se trabajara materiales difíciles de digerir metanogénicamente, también en los casos donde son escasas las materias primas a procesar, por lo cual se obtendrán de forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha. Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico. (Moreno, 2011)

3.4 TABLA COMPARATIVA

A continuación, se generará una comparación, como se puede ver en el Cuadro 1, de algunas de las características que tienen los biodigestores, con el fin de ver más al detalle los seis tipos de biodigestores expuestos anteriormente y que se facilite la selección de un biodigestor que se adecue a las características de la finca “El Rubí” en el capítulo siguiente

Tabla 3. Cuadro comparativo de las características principales de los biodigestores seleccionados.

	Domo Fijo	Domo Flotante	Estructura Flexible	Industrial	Horizontal	Batch
Generación Biogás	0.15 y 0.20 vol de gas por vol de digester/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digester/día	0.5 y 0.75 vol de gas por vol de digester/día	0.1 y 1.5 vol de gas por vol de digester/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digester/día	0.5 y 1.0 vol de gas por vol de digester/día
Vida Útil	20 años	15 años	10–15 años	35 años	15 años	15 años
Presión Biogás	Variable	Constante	Variable y baja	Variable y alta	Variable	Variable
Fugas Biogás	Común	No es común	No es común	No es común	No es común	No es común
Tamaño	5 m ³	5-15 m ³	4-100 m ³	Aprox 1.000 m ³	> 15 m ³	5-100 m ³
Materiales Construcción	Cemento, ladrillo y varillas de hierro	Cemento, ladrillo y cúpula flotante de acero	Plástico PVC (polietileno)	Cemento, ladrillo y hormigón	Cemento, ladrillo y cúpula flotante de acero o varillas	Batería de tanques o depósitos herméticos
Mantenimiento	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo
Ubicación y Espacio	Enterrado totalmente	Bajo tierra, alto requerimiento de espacio	Semi enterrado Zanja de aprox 2.5 m	Sobre la superficie, alto requerimiento de espacio	Semi enterrado Zanja de aprox 2.5 m	Sobre la superficie o semi enterrado
Tipo de Residuos	Sin restricción	Residuos con fibra	Aguas residuales	Biofertilizante	Sin restricción	Bioabono
Costos	Elevados	Elevados	Bajos	Elevados	Elevados	Elevados
Movilidad	Nula	Nula	Posible	Nula	Nula	Nula

Como se puede observar en el Cuadro 1 mostrada anteriormente, se evidencia la caracterización de los distintos tipos de biodigestores existentes, por ejemplo, se resalta que los industriales son los más grandes, debido a que como dice su nombre son industriales y se usan para las grandes empresas o compañías cuando se tiene más residuos sólidos orgánicos u otros tipos de residuos para producir biogás logrando producir la mayor cantidad en volumen del mismo, en cambio los otros mencionados son un poco más pequeños y pueden ser usados en espacios reducidos como casas o fincas, produciendo menor volumen de biogás respectivamente. Por otro lado, se observa que la vida útil suele estar en un promedio de 15 años, pero en biodigestores como el industrial y el de domo fijo puede llegar a ser un poco mayor. Con respecto a los mantenimientos, la mitad de los biodigestores tienen bajos costos de mantenimiento, como es el caso del de estructura flexible, en cambio hay otros que debido a su tamaño o producción pueden llegar a tener mayores costos como el domo flotante o el horizontal.

Otro de las características más importantes al momento de escoger un biodigestor es el costo de este, debido a que generalmente tiene altos costos, en el Cuadro 1 se muestra que el único digestor con bajos costos es el de estructura flexible lo cual es una fortaleza, en comparación a los otros biodigestores, esta característica se encuentra relacionada con los materiales de construcción debido a que el digestor que encontramos más económico está construido por PVC (plástico) en comparación a los otros que se elaboran generalmente de cemento y ladrillo además de otros materiales adicionales. También es importante resaltar los tipos de residuos que se usaran, debido a que según el biodigestor se pueden generar distintos residuos con los cuales se deberán realizar un posterior tratamiento.

Por último, encontramos entre las características que la mayoría de los biodigestores no es común que presenten fugas, a excepción del domo fijo, otra característica que se presenta es la variación de presión en la mayoría de los digestores, debido a que en estos equipos se presenta comúnmente estas variaciones, el único que tiene constante la presión es el domo flotante por su estructuración.

4. SELECCIÓN DE CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR QUE SE ADECUA A LAS NECESIDADES DE LA FINCA “EL RUBÍ”

Teniendo en cuenta los conceptos definidos en el marco conceptual y la exhaustiva investigación realizada de los distintos tipos de biodigestores existentes, se logran establecer los criterios determinantes para la selección del biodigestor más apto para las necesidades de la finca “El Rubí”, a partir de la matriz PUGH.

4.1 Matriz para realizar la selección del biodigestor

La matriz que se va implementar para realizar la selección de un biodigestor presente en el mercado, con el fin de encontrar la tecnología más viable que se adecue a las necesidades de la finca “El Rubí”, es La Matriz de Pugh para la toma de decisiones.

La Matriz de Pugh es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí mediante un arreglo multidimensional. Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente. El primer paso es identificar los criterios que serán evaluados. Los criterios son básicamente las necesidades del cliente, por ende, a continuación, se presentan los criterios de selección explicados uno a uno.

4.2 Criterios de selección de la tecnología más viable

Luego de la revisión bibliográfica sobre los tipos de biodigestores disponibles en el mercado en el capítulo anterior y de entender cuáles son sus ventajas y desventajas, mediante el cuadro comparativo, se seleccionaron los siguientes criterios teniendo en cuenta que basados en la literatura dichos criterios son los que más intervienen en la toma de decisión para la selección de un biodigestor para una finca familiar:

4.2.1 Generación Biogás.

Este criterio involucra el volumen de gas producido en unidades de volumen de gas por volumen de digestor por día, buscando siempre la mayor eficiencia en los biodigestores es decir la mayor producción de biogás.

4.2.2 Vida Útil.

Este criterio se evalúa de acuerdo al periodo en el que se espera utilizar el biodigestor, por ende, entre mayor sea el tiempo de su vida útil mejor será este criterio ya que implicara menores costos en la inversión de un nuevo biodigestor.

4.2.3 Presión Biogás.

En este criterio se tiene en cuenta si la presión de gas que va a producir el biodigestor es constante o, por el contrario, fluctúa, por ende, en este criterio se busca que la presión del biogás sea constante, con ello previniendo posibles fugas y daños en los biodigestores.

4.2.4 Fugas Biogás.

En este criterio podemos evidenciar si es común o por el contrario no es común la presencia de fugas del biogás que se genera en los biodigestores debido a la presión del biogás, por lo tanto, se busca que los biodigestores no presenten fugas ya que esto repercutiría en la elevación de costos de mantenimiento.

4.2.5 Tamaño.

Este criterio es muy importante ya que debido a este podemos decir sin previo estudio alguno de los biodigestores que no podrían ser utilizados debido a la carga o tamaño que tienen puesto que hay un valor contaste de materia orgánica.

4.2.6 Materiales Construcción.

En este criterio se tiene en cuenta principalmente el tipo de materiales que se utilizarían en la construcción del biodigestor. Además, se tiene en cuenta si estos materiales son, o no, perjudiciales para el medio ambiente y la dificultad de su obtención.

4.2.7 Mantenimiento.

En este criterio se evalúa principalmente qué tanto tiempo duraría el biodigestor y qué tan difícil y costoso es realizar el mantenimiento, como pudimos ver en criterios anteriores muchos de ellos podrían llegar aumentar los costos de mantenimiento por ende este criterio varía dependiendo de otros.

4.2.8 Ubicación y Espacio.

En este criterio se tiene en cuenta, dependiendo las dimensiones del biodigestor qué tanto impacto generaría para las personas que lo vean, dependiendo de si es enterrado que genera

mayores costos o si es semienterrado que suaviza los costos pero que genera un poco de impacto visual o por el contrario es totalmente sobre la superficie que si requiere un estudio del impacto visual que se genera.

4.2.9 Tipo de Residuos.

En este criterio se evalúa el tipo de residuo que se genera después de la obtención de biogás, que puede ser sin restricción, residuos con fibra, aguas residuales, biofertilizante o bioabono, algunos claramente son más convenientes que otros por ende es necesario evaluar este criterio para la sección del biodigestor.

4.2.10 Costos.

Este criterio está relacionado con qué tan costosos son los materiales que se implementarían para la construcción del biodigestor, además los costos de mantenimiento por lo que este criterio resulta ser muy necesario en la evaluación ya que se busca un biodigestor de bajo costo.

4.2.11 Movilidad del sistema.

En este último criterio se evalúa la facilidad que tiene la instalación, en cuanto a que tan posible es la movilidad del sistema, criterio que resulta bastante importante, ya que si tiene disponibilidad de cambiar de posición el biodigestor es un criterio atractivo para las características de una finca.

4.3 Implementación de la matriz Pugh selección de la tecnología más viable

El primer paso para la implementación de la matriz Pugh como se mencionó anteriormente fue la selección de los criterios a evaluar, criterios que se dejaron expuesto. Estos son ubicados generalmente como filas de la matriz. Luego se deben especificar los posibles conceptos de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos. Los mismos aparecerán en las columnas de la matriz, como se muestra en la Imagen 22.

Para continuar llenando la matriz se toma la primera alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior, es inferior o es igual. Si es superior se coloca un signo "+", si es inferior un signo "-" y si es igual un "0". Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en planillas de cálculo. Por ellos se Utilizara esta última nomenclatura. Una vez completada toda la tabla, se realiza la suma de cada columna. El concepto de diseño que obtenga un resultado mayor, producto del balance entre aspectos positivos y negativos, será la "mejor solución".

Figura 23.

Matriz PUGH

		ALTERNATIVAS					
		Domo Fijo	Domo Flotante	Estructura Flexible	Industrial	Horizontal	Batch
CRITERIOS	Generación Biogás	-1	1	1	1	1	1
	Vida Útil	1	1	1	1	1	1
	Presión Biogás	-1	0	1	-1	-1	-1
	Fugas Biogás	-1	1	1	1	1	1
	Tamaño	-1	1	1	-1	-1	1
	Materiales Construcción	1	1	1	1	1	1
	Mantenimiento	1	-1	1	-1	-1	1
	Ubicación y Espacio	-1	-1	0	-1	0	1
	Tipo de Residuos	0	-1	-1	1	0	1
	Costos	-1	-1	1	-1	-1	-1
	Movilidad del Sistema	-1	-1	1	-1	-1	-1
	Suma Positivos (+)	3	5	9	5	4	8
Suma Negativos (-)	-7	-5	-1	-6	-5	-3	
SUMA GENERAL	-4	0	8	-1	-1	5	

Nota. Esta imagen muestran los resultados atrojados por la matriz PUGH sin ponderación. Elaboración propia.

Después de completar toda la tabla y realizar la suma respectiva como lo indica la matriz Pugh obtenemos la mejor alternativa, esta indica que el Biodigestor de Estructura Flexible presenta superioridad en cuanto a los criterios evaluados obteniendo una mejor calificación en la matriz. Pero no se puede fiar de este resultado debido a que no todos los criterios poseen el mismo impacto sobre el cliente. Quizás los tipos de residuos no son tan críticos como los costos y el tamaño del biodigestor. En estos casos se debe ponderar a cada criterio para que el impacto de cada comparación no tenga el mismo peso. Que no sea lo mismo hablar de un criterio de poca importancia que de uno más crítico. Por ende volvemos a corregir la matriz, agregando una columna de peso para cada criterio, como podemos ver en la Imagen 23.

El peso ponderado en una escala de 0 a 100% fue dado a cada uno de los criterios de acuerdo a la importancia de este criterio al momento de la selección de la mejor tecnología, por ello como se muestra en la Imagen 23 los criterio de tamaño y costos recibieron un peso de 15% que es el mayor otorgado a los criterios ya que estos dos resultan ser los más determinantes al momento de la

elección, los siguientes criterios, generación de biogás, materiales de construcción, ubicación y espacio, vida útil y movilidad del sistema, se les otorgo un peso de 10% siendo un peso medio y por último los criterios de presión de biogás, fugas de biogás, mantenimiento y tipos de residuos se les asigno un peso de 5% siendo un peso menor a todos los anteriores lo que significa que son los criterios que menos se tuvieron en cuenta para la elección del biodigestor.

Figura 24.

Matriz PUGH ponderada

CRITERIOS	PESO %	ALTERNATIVAS					
		Domo Fijo	Domo Flotante	Estructura Flexible	Industrial	Horizontal	Batch
Generación Biogás	10	-10	10	10	10	10	10
Vida Útil	10	10	10	10	10	10	10
Presión Biogás	5	-5	0	5	-5	-5	-5
Fugas Biogás	5	-5	5	5	5	5	5
Tamaño	15	-15	15	15	-15	-15	15
Materiales Construcción	10	10	10	10	10	10	10
Mantenimiento	5	5	-5	5	-5	-5	5
Ubicación y Espacio	10	-10	-10	0	-10	0	10
Tipo de Residuos	5	0	-5	-5	5	0	5
Costos	15	-15	-15	15	-15	-15	-15
Movilidad del Sistema	10	-10	-10	10	-10	-10	-10
SUMA GENERAL		-45	5	80	-20	-15	40
RANKING		6	3	1	5	4	2

Nota. Esta imagen muestran los resultados atrojados por la matriz PUGH con ponderación. Elaboración propia.

Finalmente, una vez introducido todos los valores dentro de la matriz Pugh, se obtiene lo que sería la mejor alternativa de acuerdo con los parámetros introducidos a la misma. Los resultados obtenidos muestran que la alternativa más viable de construcción de biodigestor es el biodigestor de estructura flexible, como se muestra en la figura # ya que obtuvo un ponderado de 80, muy superior a las otras alternativas propuestas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de conocer las características de la finca “El Rubí” y compararlas con el funcionamiento de una finca de economía familiar se evidencia que esta cumple con los criterios expuestos ya que es un área que es explotada de forma agrícola, pecuaria o forestal con el fin procesarlos para obtener bienes, productos o servicios, y con ello creando una incidencia socioeconómica al generar empleo, productos para la canasta familiar y materias primas para otros procesos.

Por otro lado, también fueron explicados los distintos tipos de residuos sólidos orgánicos que se generan en la finca por los diferentes procesos productivos, clasificándolos según su origen, con el fin de caracterizarlos y conocer sus propiedades para poder saber la calidad de materia prima que se tendría para la generación de biogás, también fueron recolectados, almacenados y pesados obteniendo un valor de 8.5 m³ en total después de sumar los residuos de cada proceso, valor que da pie para la selección del mejor biodigestor.

Conociendo esto, se indagaron las diferentes tecnologías disponibles en la literatura y en el mercado, obteniendo los biodigestores de domo fijo, de domo flotante, de estructura flexible, industriales, horizontales y tipo Batch, todos estos biodigestores fueron puestos en comparación de acuerdo a una serie de criterios básicos para ser tenidos en cuenta en el proceso de selección de la mejor tecnología que se acomode a las características de la finca.

Obteniendo las tecnologías que serían evaluadas, se planteó el uso de la matriz Pugh para la toma de decisiones, en la cual se llevó a cabo la comparación de los diferentes tipos de biodigestores teniendo en cuenta los siguientes criterios: generación de biogás, vida útil, presión de biogás, fugas de biogás, tamaño, materiales de construcción, mantenimiento, ubicación y espacio, tipo de residuos, costos y movilidad del sistema.

El primer resultado obtenido por la matriz Pugh, nos muestra que la mejor tecnología para la implementación de un biodigestor en la finca es el biodigestor de estructura flexible con una suma de positivos de 9 y una suma de negativos de -1, como se evidencia en Imagen 22, esto indica que 9 de los 11 criterios evaluados resultan satisfactorios para la implementación de este tipo de biodigestor y que por el contrario 1 de los 11 criterios resulta negativo, al realizar la suma general obtenemos un valor de 8, que resulta superior a los resultados de las demás tecnología, Pero no se puede fiar de este resultado debido a que no todos los criterios evaluados poseen el mismo impacto

sobre el cliente. Por ello fue necesario realizar otra comparación, esta vez añadiendo una columna de peso para cada criterio, como podemos ver en la Imagen 23.

Los resultados que arrojó la segunda matriz coincidentalmente reafirman que la mejor tecnología para la implementación de un biodigestor que se adecue a las características de la finca “El Rubí”, teniendo en cuenta todos los criterios evaluados, es el biodigestor de estructura flexible, con una suma ponderada de 80.

Objetivamente, desde la revisión de la literatura de las tecnologías de biodigestores disponibles que podrían utilizarse en una finca de economía familiar, el biodigestor de estructura flexible se perfilaba para ser la opción adecuada; pues, este tipo de biodigestor había sido diseñado en parte, para ser de fácil construcción, fácil mantenimiento, con costos relativamente bajos teniendo en cuenta los materiales que se utilizarían y con un tiempo de vida relativamente extenso como para que se construcción se justificara, criterios que otras tecnologías no evidenciaban desde un principio y que hubieran podido ser descartados desde el inicio, como lo es el caso de o los biodigestores industriales, horizontales y tipo Batch pues dentro de sus características principales se encontró que no cumplían con criterios básicos para ser tenidos en cuenta en el proceso de selección de la mejor tecnología.

Los biodigestores industriales son usados a gran escala. Suponen una cantidad de materia orgánica muy por encima de la que se va a utilizar en la finca de economía familiar. Adicional a esto, supone altos costos por el uso de bombas y compresores para su uso, los biodigestores horizontales se recomiendan para volúmenes de más de 15 metros cúbicos de materia orgánica; lo cual, supera la cantidad de la que se dispone en la finca. Por esto, generaría costos innecesarios por el espacio que sobraría dentro del tanque. Además, este biodigestor va enterrado, y por su tamaño, los costos de excavación para introducir el tanque superarían la capacidad económica de una finca de economía familiar, por último el biodigestor tipo Batch aunque resulta ser el segundo en el ranking de la matriz obteniendo un puntaje de 40 y que su uso está destinado para pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, no está recomendado para uso doméstico, el cuál sería el principal uso dentro de la finca de economía familiar.

Un caso de implementación con éxito de este tipo de biodigestor se puede evidenciar en el documento que se titula “viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU, quien evalúa la viabilidad técnica para la

producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos teniendo en cuenta tecnologías mundialmente usadas, dentro de los cuales destacan los biodigestores que ya fueron presentados anteriormente, y de los cuales se concluye que la mejor alternativa es el biodigestor de estructura flexible. (Rodríguez Perdigon, 2014)

Cabe aclarar que la implementación de este tipo de biodigestores, constituye una gran alternativa para ser tenida en cuenta por los campesinos de la región, como una alternativa de aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos generados durante los procesos productivos que se lleven a cabo en las fincas. Con esta alternativa, además de que se evita el manejo inapropiado de los residuos sólidos orgánicos, se genera biogás que puede ser usado dentro de la misma finca para otras actividades, como puede ser el de la estufa e incluso, para vender y obtener un ingreso adicional, además que se genera abono que puede ser utilizado en los cultivos que se tengan en la finca.

6. CONCLUSIONES

Se identificó una totalidad de residuos sólidos orgánicos de 8.5 m³ en la finca de economía familiar “El Rubí”, los cuales se obtienen de tres formas: un 4.9 m³ de ordeñar, un 1.9 m³ de café y un 1.7 m³ de árboles y otros, comprobando que es la cantidad suficiente para producir un biogás suficiente para la finca según las características del biodigestor seleccionado.

Se compararon 6 biodigestores basados en las investigaciones realizadas en la literatura que presentan distintas tecnologías, los cuales son biodigestores de domo fijo, domo flotante, estructura flexible, industrial, horizontal y Batch, los cuales poseen características propias que los identifican, logrando entender su funcionamiento según la necesidad que se tenga, justificando cuales son los mejores biodigestores y cuál es el más apto para la finca.

Se seleccionaron 11 criterios como fundamentales para la toma de decisión del mejor biodigestor que se adecue a las características de la finca “El Rubí”, los cuales fueron valorados por medio de la matriz Pugh donde se dieron valores y peso a cada uno de los criterios evaluando cuales son los más importantes y afectan directamente al biodigestor logrando predecir que el mejor biodigestor es el de estructura flexible.

Se comprobó que la tecnología más adecuada para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos son los biodigestores específicamente el de estructura flexible debido a sus bajos costos, bajo mantenimiento, buena producción de biogás, materiales de construcción económicos, un tamaño adecuado y con posibilidad de movilidad del sistema, logrando que con la cantidad de residuos obtenidos se produzca una cantidad de biogás óptima para el uso necesario en la finca “El Rubí”.

7. RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda analizar el proyecto, desde el modelo de una comunidad, es decir, evaluar la conveniencia de un biodigestor reuniendo varias fincas y hacerlo en sociedad, para esto se necesitaría realizar una evaluación financiera detallada que reafirme cual es la mejor opción, si un biodigestor unitario por finca o la realización de un biodigestor en sociedad.
- ❖ Se recomienda realizar un estudio similar en las fincas aledañas, utilizando como estudio piloto la presente monografía, con el fin de evaluar a mayor profundidad la oportunidad de implementar esta tecnología por todo el sector, ya que sería de gran ayuda para las familias que residen en dichas fincas, debido a que no se cuenta con tubería de gas natural y la principal fuente para cocinar en la estufa de leña.
- ❖ Al momento de implementar la tecnología del biodigestor de estructura flexible en la finca “El Rubí” es necesario evaluar un sistema de monitoreo que ayude a controlar el proceso de generación de biogás y que a su vez pueda garantizar una mayor eficiencia en los procesos.
- ❖ Se recomienda efectuar un estudio que evalúe la generación de abono que se obtiene al final del proceso de creación de biogás a partir de un biodigestor de estructura flexible, esto con el fin de aprovechar de una mejor manera estos residuos.
- ❖ Se recomienda realizar la evaluación necesaria para llegar a conocer el dimensionamiento del biodigestor que fue escogido en esta monografía como la mejor tecnología existente para una finca de economía familiar.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Municipal de Silvania.* (s.f.). Obtenido de ECONOMIA: <http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Almendros, A. (21 de Noviembre de 2018). *ALMENDROS*. Obtenido de <http://administracionesalmendros.com/tipos-de-finca-finca-rustica-y-finca-urbana/>
- Ambiental-OEFA, O. d. (2013-2014). *Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de Gestión Municipal Provincial*. Lima, Perú.
- Arenas Guayazan, B. (2019). (Trabajo de grado) *Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto "La Villa Solar" ubicado en la ciudad de Buenaventura-Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle.
- Ayala Ramirez, R. (2005). *Caracterización económica y empresarial de las provincias de Cobertura de la CCB*. Sumpaz: Camara de Comercio de Bogotá.
- Brundtland, H. (1987). Nuestro Futuro Comun. En *Desarrollo y cooperación económica internacional: medio ambiente*.
- Carvajal, N. V. (2020). (Trabajo de Grado). Aprovechamiento sostenible de residuos sólidos orgánicos para la generación de biogás en una finca ganadera de economía familiar en timaná (huila). *especialización en gestión ambiental*. bogotá, colombia: fundación universidad de américa.
- Castrellón, J. M. (2014). Silvania: Mi municipio, Mi cultura. Obtenido de <http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Monograf%C3%ADa%20de%20Silvania.pdf>
- Contreras, E. G. (2016). *Residos y areas verdes*. Lima, Peru: Ministerio del Ambiente. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>
- Desarrollo-pnud, p. d. (s.f.). *Objetivo 7: Energi asequible y no contaminante*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- FAO. (2001). *Sistema de Produccion Agropecuaria y Pobreza*. Washington, USA. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/260478436_Agricultura_familiar_y_acceso_a_l os_recursos

- Gonzales, E., Castillo, F., Correa, S., & Retto, C. (2017). *Sistema de aprovechamiento*. universidad de piura.
- Gonzales, E., Castillo, F., Socorro Correa, S., & Retto, C. (18 de Noviembre de 2017). *Sistema de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos de Ganado Vacuno y su Aplicación en la Agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L.* (F. d. Ingeniería, Ed.) Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf
- Hilbert, J., & Eppel, J. (2007). *Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas*. Argentina.
- Industriales, S. M. (s.f.). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala*. Guatemala.
- Internacional, P. S. (2008). *Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de perfil*. Peru.
- Lagrange, B. (1979). *Biomethane Principes, Techniques, Utilisation* (Vol. 2). Energies Alternatives.
- Mandujano, M., Felix, A., & Martinez, A. (1981). *Biogás, Energía y Fertilizante a partir de desechos orgánicos*. México: OLADE.
- Moreno, M. T. (2011). *Manual de biogas*. Santiago, Chile.
- Municipios de colombia*. (s.f.). Obtenido de Municipio de Silvania: <https://www.municipio.com.co/municipio-silvania.html>
- ONU, P. D. (2015). *La Agenda 2030 y los Onjetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para America Latina y el Caribe*.
- Palacios, A. (2016). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR*. Universidad de Piura.
- Rodríguez Perdigon, L. (Septiembre de 2014). Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – forsu. Bogotá, Colombia: Universidad EAN.
- Rodríguez Ramon, L. (2012). *Implementación y Construcción de un Biodigestor Hindú de Estructura Flexible con el Aprovechamiento de las Excretas de Ganado Vacuno, Aplicado a la Quinta Experimental Punzara*. Loja, Ecuador.