

**APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS
PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA FINCA GANADERA DE
ECONOMÍA FAMILIAR EN TIMANÁ (HUILA)**

NICOLÁS VARGAS CARVAJAL

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

**APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS
PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA FINCA GANADERA DE
ECONOMÍA FAMILIAR EN TIMANÁ (HUILA)**

NICOLÁS VARGAS CARVAJAL

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Orientador
Jimmy Edgard Álvarez Díaz
Biólogo**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director de la Especialización

Firma del Calificador

Bogotá, D.C., febrero de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretaria General

Dr. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de Facultad Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

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 mi abuelo,
Jesús Antonio Vargas Valencia.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Hugo Alberto y Martha Lucía, y a mi hermano Juan José, por apoyarme en cada proyecto de mi vida y estar siempre a mi lado.

A mi abuelita Ligia, por creer en mi y estar presente en cada uno de mis logros.

A mi tía Francia, por brindarme un lugar en su hogar desde el momento que llegué a Bogotá.

A María, por darme su cariño y acompañarme durante la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS	14
1. MARCO CONCEPTUAL	16
1.1 ECONOMÍA FAMILIAR	16
1.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA FINCA DE ECONOMÍA FAMILIAR GANADERA	16
1.3 RESIDUOS SÓLIDOS	17
1.4 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	20
1.5 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS POR GANADO LECHERO	20
1.6 FINCAS AGROECOLÓGICAS	20
1.7 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	21
1.7.1 Biogás	21
1.7.1.1 Etapas de generación de biogás	21
1.7.1.2 Aplicaciones del biogás	23
1.7.2 Biodigestores	24
1.7.2.1 Biodigestores tradicionales	25
1.7.2.2 Biodigestores industriales	25
1.8 POLÍTICAS	25
1.8.1 Desarrollo sostenible	25
1.8.2 Objetivo de Desarrollo Sostenible 7	26
1.8.3 Otras normas	27
2. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA FINCA “EL CHONTADURO”	28
2.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO	28
2.1.1 Límites del municipio	28
2.1.2 Descripción física	
2.1.3 Economía del municipio	29
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA FINCA DE ECONOMÍA FAMILIAR	29
2.3 CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS GENERADOS	33
3. DETERMINACIÓN BIODIGESTORES PARA EL USO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA FINCA “EL CHONTADURO”	36
3.1 BIODIGESTORES TRADICIONALES	37
3.1.1 Biodigestor de domo flotante	37
3.1.2 Biodigestor de domo fijo	38
3.1.3 Biodigestor de estructura flexible	40
3.2 BIODIGESTORES INDUSTRIALES	41
3.3 OTROS BIODIGESTORES	41
3.3.1 Biodigestores horizontales	41

3.3.2 Biodigestor Batch (discontinuo o régimen estacionario)	42
3.4 PARTES DE UN BIODIGESTOR	43
4. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA FINCA “EL CHONTADURO	45
4.1 SOFTWARE PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN	45
4.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE	45
4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE	46
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
6. CONCLUSIONES	57
7. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Estructura de un sistema de producción bovina	17
Imagen 2. Residuos sólidos según su origen	19
Imagen 3. Reciclaje de desechos pecuarios y usos del biogás y bioabono	24
Imagen 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible	26
Imagen 5. Municipio de Timaná visto desde la finca "El chontaduro"	28
Imagen 6. Entrada a la finca "El Chontaduro"	30
Imagen 7. Estufa de leña utilizada por los habitantes de la finca "El Chontaduro"	31
Imagen 8. Ganado lechero dentro del establo previo el proceso de ordeño	32
Imagen 9. Porción del área de pastoreo de la finca	33
Imagen 10. Contenedor de residuos sólidos orgánicos que llegan desde el establo de ordeño	34
Imagen 11. Biodigestor tubular unifamiliar	36
Imagen 12. Esquema de biodigestor de domo flotante	38
Imagen 13. Esquema de biodigestor de domo fijo	39
Imagen 14. Esquema de biodigestor de plástico	40
Imagen 15. Biodigestor horizontal.	42
Imagen 16. Biodigestor discontinuo o batch	43
Imagen 17. Introducción de criterios y alternativas en el software Super Decisions.	47
Imagen 18. Relación de objetivo, criterios y alternativas en el software SuperDecisions	48
Imagen 19. Introducción de valores de importancia de criterios dentro del software SuperDecisions	50
Imagen 20. Resultados obtenidos en el software SuperDecisions	54

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Normas aplicables a la producción de biogás en Colombia	27
Cuadro 2. Partes de un biodigestor	44

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen datos de la finca “El Chontaduro”	35
Tabla 2. Comparación de niveles de importancia entre los criterios	49
Tabla 3. Comparación de alternativas según el criterio de construcción	51
Tabla 4. Comparación de alternativas según el criterio de costos	51
Tabla 5. Comparación de alternativas según el criterio de durabilidad y mantenimiento	52
Tabla 6. Comparación de alternativas según el criterio de impacto visual.	53
Tabla 7. Comparación de alternativas según el criterio de presión de operación	53

INTRODUCCIÓN

En el 2014, “Año Internacional de la Agricultura Familiar” (AIAF), declarado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, la FAO¹ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) propuso un concepto que integra los principios comunes de su definición: “La Agricultura Familiar (incluyendo todas las actividades agrícolas basadas en la familia) es una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende preponderantemente del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la finca están vinculados, co-evolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales”. En este aspecto, en una finca de economía familiar (principalmente ganadera) interactúan cada uno de los miembros de un núcleo familiar con el fin de lograr un auto sustento a partir de la extracción de leche del ganado bovino.

Durante este proceso, se generan impactos principalmente ambientales relacionados a la producción de residuos sólidos orgánicos generados por el ganado lechero, tales como: contaminación de fuentes hídricas por estos residuos y por los fertilizantes utilizados para el crecimiento de alimento para el ganado, aumento de desechos que llegan al relleno sanitario, contaminación al interior de la finca por los mismos y aumento de plagas por la acumulación inadecuada de estos, entre otros.

El propósito de este trabajo consiste en evaluar tecnologías de tratamiento de residuos sólidos orgánicos generados por el ganado lechero para la producción de biogás como una alternativa económica para las familias. Este biogás puede ser aprovechado como fuente de energía para la cocción de los alimentos y otras actividades cotidianas que necesiten de una fuente de energía de este tipo, lo cual, está en congruencia con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7 “Energía asequible y no contaminante” que tiene como principales metas propuestas, según el PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD², a 2030: garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética, entre otras.

¹ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Agricultura Familiar: alimentar al mundo, cuidar el planeta. [Sitio web]. [Consultado 15, septiembre, 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/republica-dominicana/programas-y-proyectos/historias-de-exito/agricultura-familiar/en/>

² PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. [Sitio Web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar una tecnología para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos para la generación de biogás en una finca ganadera de economía familiar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados por una finca de economía familiar dedicada a la ganadería.
- Determinar las tecnologías disponibles de biodigestores para el uso sostenible de los residuos orgánicos en una finca de economía familiar para la generación de biogás.
- Evaluar la tecnología más viable para la generación de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos generados en una finca de economía familiar dedicada a la ganadería.

RESUMEN

El presente trabajo se basa en la evaluación de la mejor tecnología para el aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos producidos por cabezas de ganado lechero en una finca de economía familiar, para la generación de biogás mediante la implementación de un biodigestor que se acople con las características de la finca. Primero se desarrolló una revisión de la literatura para explicar qué es una finca de economía familiar, el proceso de biodigestión y cuáles son las tecnologías disponibles para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos producidos por ganado lechero. Posteriormente, se realizó la cuantificación de los residuos generados en la finca “El Chontaduro”, determinando las características de la misma. Se encontró una producción de 9 metros cúbicos de residuos sólidos orgánicos/Semana. Se determinaron las tecnologías disponibles de biodigestores en la literatura y en el mercado, encontrando biodigestores de domo fijo, domo flotante, estructura flexible, horizontales y tipos Batch, entre otros; se seleccionaron los tres primeros sistemas por acoplarse a las necesidades de la finca. Finalmente, se realizó una toma de decisiones por medio del software SuperDecisions, implementado criterios como construcción, costos, durabilidad y mantenimiento, impacto visual y presión de operación, para determinar la mejor tecnología para implementar en la finca. Esto predijo que el biodigestor de estructura flexible es la mejor alternativa para la finca en estudio.

Palabras clave: Economía Familiar, Aprovechamiento Sostenible, Residuos Sólidos Orgánicos, Biogás, Biodigestor.

ABSTRACT

The present work is based on the evaluation of the best technology for the sustainable use of organic solid waste produced by heads of dairy cattle in a family-owned farm, for the generation of biogas through the implementation of a biodigester that is coupled with the characteristics of the farm. First, a review of the literature was developed to explain what a family economy farm is, the biodigestion process and what are the technologies available for the use of organic solid waste produced by dairy cattle. Subsequently, the quantification of the waste generated in the “El Chontaduro” farm was carried out, determining its characteristics, finding a production of 9 cubic meters of organic solid waste / Week. The available biodigester technologies in the literature and in the market were determined, finding biodigestors of fixed dome, floating dome, flexible structure, horizontal and Batch types, among others; selecting the first three to match the needs of the farm. Finally, a decision was made through the SuperDecisions software, implementing criteria such as construction, costs, durability and maintenance, visual impact and operating pressure, to determine the best technology to implement in the farm, predicting that the flexible structure digester It is the best alternative.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 ECONOMÍA FAMILIAR

La organización no gubernamental FACUA³-Consumidores en acción (FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES DE CONSUMIDORES Y USUARIOS DE ANDALUCÍA) define la economía familiar como “una microeconomía que se debe distribuir adecuadamente, evitando el sobreendeudamiento y aumentando la capacidad de ahorro del individuo”, dentro de la cual deben existir normas internas conocidas por cada miembro del núcleo familiar.

Por otra parte, la FAO⁴ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS) propuso un concepto de agricultura familiar que integra los principios comunes de su definición:

“La Agricultura Familiar (incluyendo todas las actividades agrícolas basados en la familia) es una forma de organizar la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, acuicultura y pastoreo, que es administrada y operada por una familia y, sobre todo, que depende preponderantemente del trabajo familiar, tanto de mujeres como hombres. La familia y la finca están vinculados, co-evolucionan y combinan funciones económicas, ambientales, sociales y culturales”.

1.2 FUNCIONAMIENTO DE UNA FINCA DE ECONOMÍA FAMILIAR GANADERA

Según FEDEGAN⁵ (FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS) los sistemas de producción bovina funcionan gracias a que hacen uso de los recursos que están disponibles en el entorno y, finalmente, luego de realizar una serie de procesos internos, se obtienen productos y residuos. Gracias a los productos, la ganadería tiene una clara incidencia social y económica, lo que da lugar a la creación de empleo, contribuye a la seguridad alimentaria y entrega materias primas para su transformación industrial.

En el gráfico de a continuación se presenta un esquema generalizado que muestra la estructura de un sistema de producción bovina. En este esquema se muestran los diferentes recursos que intervienen en el proceso productivo ganadero compuesto

³ FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES DE CONSUMIDORES Y USUARIOS DE ANDALUCÍA – FACUA. Gestión Eficaz de la Economía Doméstica. [Sitio web]. P. 3. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: https://www.facua.org/es/guias/economia_domestica_sevilla.pdf

⁴ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Agricultura Familiar: Alimentar al mundo, cuidar el planeta. [Sitio Web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/republica-dominicana/programas-y-proyectos/historias-de-exito/agricultura-familiar/en/>

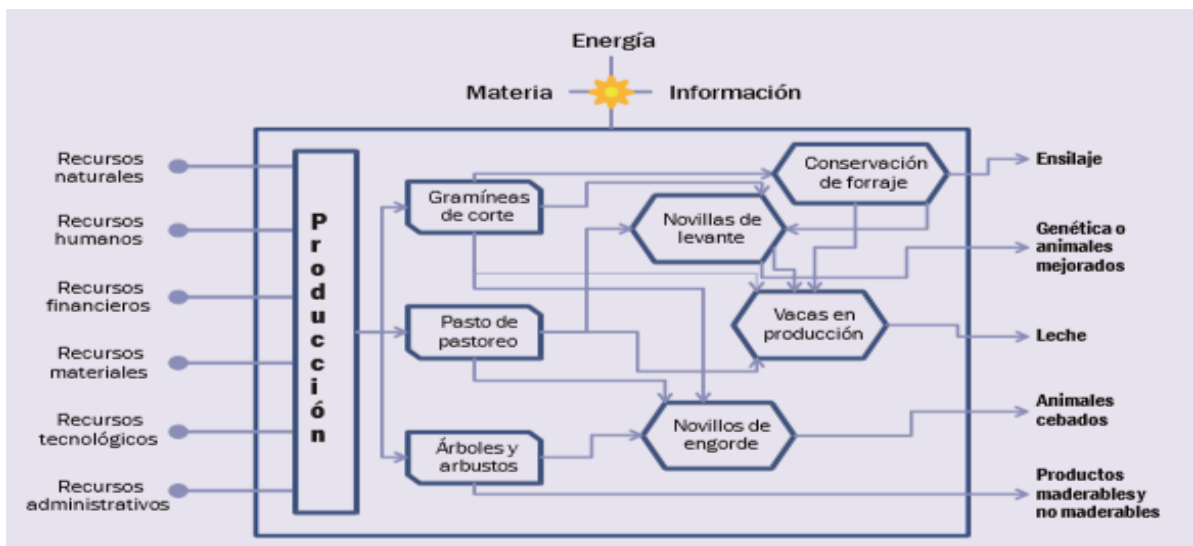
⁵ FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS – FEDEGAN. Módulo Empresa Ganadera. [Sitio web]. P. 15. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <file:///D:/Especialización%20G.A/Monografía/Monografías%20base/Manual%20de%20empresas%20ganaderas-%20fedegan.pdf>

por los recursos naturales, humanos, financieros, materiales, tecnológicos y administrativos.

Además, se muestra la materia prima que se produce en la misma finca, como las gramíneas de corte, el pasto de pastoreo y árboles y arbustos, que servirán para el alimento de las novillas de levante, vacas de producción y novillos de engorde.

Finalmente, se presentan los productos finales obtenidos, como los animales, la leche, el ensilaje, la madera y los productos forestales. De estos productos es que la finca obtendrá sus ingresos para su sostenimiento.

Imagen 1. Estructura de un sistema de producción bovina.



Fuente: FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS – FEDEGAN. Módulo Empresa Ganadera. [Sitio web]. P. 15. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en:

file:///D:/Especialización%20G.A/Monografía/Monografías%20base/Manual%20de%20empresas%20ganaderas-%20fedegan.pdf

1.3 RESIDUOS SÓLIDOS

Según el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE PERÚ – MINAM⁶, los residuos sólidos son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud

⁶ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE PERÚ – MINAM. Residuos y áreas verdes. [Sitio web]. P. 8. [Consultado 24, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

y el ambiente. Esta definición incluye a los residuos generados por eventos naturales.

En otras palabras, los residuos sólidos son todas aquellas sustancias y/o productos que ya no se usan, pero que de alguna manera pueden ser aprovechados para un propósito determinado.

En el caso de una finca de economía familiar, se generan eventualmente dos tipos de residuos sólidos, los cuales son: **residuos domiciliarios**, generados por actividades domésticas realizadas en los domicilios, como restos de alimentos, revistas, empaques plásticos, botellas, etc.; **residuos agropecuarios**, generados por actividades agrícolas y pecuarias, como envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos y las excretas de los animales. Son estos últimos residuos sólidos (conocidos como residuos sólidos orgánicos por provenir de un organismo), los que interesan al momento de la producción de biogás.

A continuación, en la imagen 2, se resume la división por tipos de residuos sólidos según su origen propuestos por el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE DE PERÚ – MINAM⁷.

⁷ Ibíd., P. 9.

Imagen 2. Residuos sólidos según su origen.

TIPO DE RESIDUO SÓLIDO	GENERADOS POR...	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
1. Residuo domiciliario	Actividades domésticas realizadas en los domicilios.	Restos de alimentos, revistas, botellas, latas, etc.	
2. Residuo comercial	Establecimientos comerciales de bienes y servicios.	Papeles, plásticos, embalajes diversos, residuos producto del aseo personal, latas, etc.	
3. Residuo de limpieza de espacios públicos	Servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas y otras áreas públicas.	Papeles, plásticos, envolturas, restos de plantas, etc.	
4. Residuo de establecimiento de atención de salud	Procesos y actividades para la atención e investigación médica en establecimientos como: hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines.	Agujas, gasas, algodones, órganos patológicos, etc.	
5. Residuo industrial	Actividades de las diversas ramas industriales, como manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares.	Lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papeles, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias peligrosas.	
6. Residuo de las actividades de construcción	Actividades de construcción y demolición de obras. Fundamentalmente inertes.	Piedras, bloques de cemento, maderas, entre otros, (desmonte).	
7. Residuo agropecuario	Actividades agrícolas y pecuarias.	Envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos, etc.	
8. Residuo de instalaciones o actividades especiales	Generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados.	Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales, puertos, aeropuertos, entre otros.	

Fuente: MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE PERÚ – MINAM. Residuos y áreas verdes. [Sitio web]. P. 9. [Consultado 24, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

1.4 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Flores, Dante⁸ define los residuos sólidos orgánicos como:

“aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente). Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada”.

1.5 RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS POR GANADO LECHERO

Según la FAO⁹ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS), el estiércol del ganado puede ser utilizado para la producción de biogás, el cuál puede ser usado al igual que el gas natural, para la calefacción, la cocción de alimentos o para la producción de electricidad. Se considera que cuando el estiércol es sometido a la digestión anaeróbica, el metano, su producto de la descomposición es capturado y utilizado como fuente de energía (biogás). La producción de biogás constituye una buena práctica de manejo ya que evita emisiones de metano a la atmósfera y el biólodo (digestato) subproducto de la producción de biogás, es un fertilizante de mayor calidad que el estiércol fresco o el compost, dado que, la concentración de nutrientes es más alta y el riesgo de propagación de patógenos y xenobióticos es menor, debido al tratamiento térmico al que el estiércol es sometido durante la digestión anaeróbica.

1.6 FINCAS AGROECOLÓGICAS

Según la FAO¹⁰ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS), la agroecología es un enfoque integrado que aplica simultáneamente conceptos y principios ecológicos y sociales al diseño y la gestión de los sistemas alimentarios y agrícolas. Su objetivo es optimizar las interacciones entre las plantas, los animales, los seres humanos y el medio ambiente, teniendo en cuenta, al mismo

⁸ FLORES, Dante. Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Guía Práctica No.2. marzo 2001; pág. 8-12.

⁹ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Bioenergía y Seguridad Alimentaria, Evaluación Rápida (BEFS RA), Manual de Usuario. [Sitio web]. P. 10. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf>

¹⁰ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Los 10 elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. [Sitio web]. P. 2. [Consultado 14, noviembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9037es/i9037ES.pdf>

tiempo, los aspectos sociales que deben abordarse para lograr un sistema alimentario justo y sostenible.

De acuerdo con la FAO¹¹ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS), La agroecología no es un invento nuevo, puede encontrarse en las publicaciones científicas desde la década de 1920 y se ha materializado en las prácticas de los agricultores familiares, en los movimientos sociales populares en favor de la sostenibilidad y en las políticas públicas de distintos países de todo el mundo. En los últimos tiempos, la agroecología se ha integrado en el discurso de las instituciones internacionales y de las Naciones Unidas.

De acuerdo con lo anterior, una finca agroecológica es aquella cuyo enfoque no solo está basado en la producción, sino también, integra conceptos y principios tanto ecológicos como sociales para el desarrollo de sus actividades productivas.

1.7 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

1.7.1 Biogás. De acuerdo con ARRIETA¹², el biogás es un gas combustible que se origina de la degradación o digestión anaeróbica (tratada en el apartado 1.2), y se compone principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), además de otros gases como el hidrógeno (H₂) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S). El porcentaje (en volumen) de metano contenido en el biogás puede variar desde un mínimo de 55% o 60% hasta un máximo de alrededor del 80%, por lo que su poder calorífico inferior, dependiente de la cantidad de metano, puede variar de 4700 a 5500 kcal /m³ o de 5 a 7 kWh/m³.

1.7.1.1 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, se mencionan 4 etapas durante la generación de biogás:

- **Etapas de Hidrólisis:** según MINENERGÍA¹⁴, la hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es este 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.

¹¹ *Ibíd.*, P. 2.

¹² ARRIETA, Winston. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. [Repositorio Institucional Pirhua]. Piura. 2016. P. 6. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2575>

¹³ MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 19. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

¹⁴ *Ibíd.*, P. 19.

- **Etapa fermentativa o acidogénesis:** para MINENERGÍA¹⁵, 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, H₂) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. 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.
- **Etapa acetogénica:** de acuerdo con MINENERGÍA¹⁶, mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H₂ y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH₃COO⁻) e hidrógeno (H₂), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*.

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 en la etapa siguiente.

- **Etapa metanogénica:** según MINENERGÍA¹⁷ En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas actúan sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio 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, H₂/CO₂, formato, metanol y algunas metilaminas.

¹⁵ *Ibíd.*, P. 21.

¹⁶ *Ibíd.*, P. 21.

¹⁷ *Ibíd.*, P. 22.

1.7.1.2 Aplicaciones del biogás. El MINISTERIO DEL MEDIO ENERGÍA DE CHILE¹⁸ - MINENERGÍA en el Manual del Biogás menciona tres principales aplicaciones del biogás:

- **Producción de Calor o vapor:** según MINENERGÍA¹⁹, es el uso más simple del biogás. Los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas para cocinar, calentar agua y para iluminación.
- **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad:** de acuerdo con MINENERGÍA²⁰, 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 se utiliza 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 electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) 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 los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua.
- **Combustible para vehículos:** según MINENERGÍA²¹, el biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. 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.

¹⁸ MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 53. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

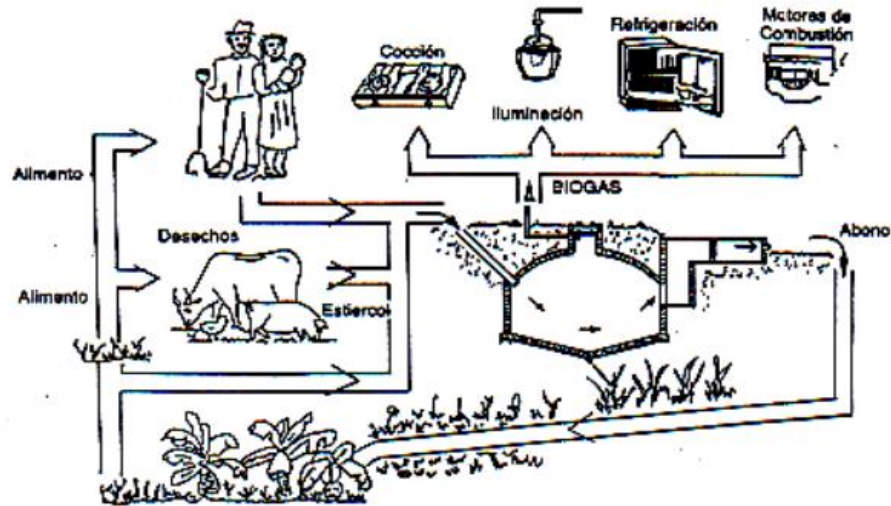
¹⁹ *Ibíd.*, P. 56.

²⁰ *Ibíd.*, P. 56.

²¹ *Ibíd.*, P. 56.

1.7.2 Biodigestores

Imagen 3. Reciclaje de desechos pecuarios y usos del biogás y bioabono.



Fuente: OLAYA, Y. Diseño de un biodigestor de cúpula fija. [Sitio web]. P. 13. [Consultado en 12 diciembre de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>

Según CORONA²², un biodigestor es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacena basura orgánica mezclada con agua que al descomponerse en ausencia de aire genera biogás. Un ejemplo se muestra en la imagen 3.

Al especificar que se puede tomar cualquier forma se está indicando que se utilizan tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, dependiendo de las preferencias del usuario y de las facilidades que se tengan para su construcción.

Sin embargo, desde el punto de vista físico y del proceso no se recomienda emplear tanques rectangulares pues requieren mayor cantidad de materiales de construcción y crean dentro de la masa en digestión zonas de diferente composición y temperatura que impiden obtener mayor provecho del sistema.

GONZALES et al,²³ menciona los siguientes tipos de biodigestores:

²² CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

²³ Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en:

1.7.2.1 Biodigestores tradicionales. Según GONZALES et al²⁴, 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.

1.7.2.2 Biodigestores industriales. Según GONZALES et al²⁵, 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.

1.8 POLÍTICAS

1.8.1 Desarrollo sostenible. BRUNDTLAND²⁶, en 1987 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.

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 gráfico a continuación:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

²⁴ *Ibíd.*, P. 39.

²⁵ *Ibíd.*, P. 42.

²⁶ BRUNDTLAND, Harlem. Nuestro Futuro Común. [Sitio web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

Imagen 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible.



Fuente: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS – ONU. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Una oportunidad para América Latina y el Caribe. [Repositorio Institucional Cepal]. P. 1. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/S1801141_es.pdf?sequence=24&isAllowed=y

1.8.2 Objetivo de Desarrollo Sostenible 7: Energía asequible y no contaminante. Según el PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO - PNUD²⁷, 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 PNUD²⁸, 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.

Para el PNUD²⁹, 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

²⁷ PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. [Sitio Web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>.

²⁸ PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. *Ibíd.*,

²⁹ PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. *Ibíd.*,

- 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.

1.8.3 Otras normas

Cuadro 1. Normas aplicables a la producción de biogás en Colombia.

Ley	Ley 1715 de 2014	“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.
Política	Documento CONPES 3874 de 2016	POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
Reglamentación	Resolución 135 de 2012	“Por la cual se adoptan normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con Biogás”.
Ley	Ley 9 de 1979	“Por la cual se dictan medidas sanitarias”.

Fuente: elaboración propia.

2. CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA FINCA “EL CHONTADURO”

2.1 GENERALIDADES DEL MUNICIPIO

Según la ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ³⁰ (Huila), El municipio de Timaná está enmarcado dentro las siguientes coordenadas geográficas: 1° 58' latitud norte y 75° 56' longitud oeste. Se encuentra a 446 kilómetros de Santafé de Bogotá, en el valle montañoso del Magdalena, subregión que corresponde a las estribaciones de la cordillera Central y Oriental, Sur del departamento del Huila, a 166 kilómetros de la Ciudad de Neiva, donde la Cordillera Oriental, en la Serranía de Buenos Aires, se bifurca, dando origen al Valle de Laboyos, Timaná y Suaza.

Imagen 5. Municipio de Timaná visto desde la finca "El chontaduro".



Fuente: elaboración propia.

2.1.1 Límites del municipio. De acuerdo con la ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ³¹ (Huila), el municipio limita al Norte con Altamira, al Sur con Pitalito, al Oriente con Acevedo y Suaza y al Occidente con la Mesa de Elías.

³⁰ ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ. Nuestro municipio. [Sitio web]. Disponible en: <http://www.timana-huila.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

³¹ ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ. Ibíd.

2.1.2 Descripción física. Según la ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ³² (Huila), Timaná tiene una extensión de 182.5 kilómetros cuadrados, a una altura de 1.100 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 24 grados centígrados. De los 182.5 kilómetros cuadrados de su extensión total, el 89.9% corresponden a clima medio, situados entre los 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 17° C a 23° C. Los 20 kilómetros cuadrados restantes, corresponden al clima frío, situado entre los 2.000 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura de 11°C a 15°C.

2.1.3 Economía del municipio. La ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ³³ (Huila), menciona que el Municipio de Timaná posee un área de producción agrícola de 4.120 Hectáreas, correspondiente al 21.01 % de del total del Municipio (19.600 Hectáreas). En el sector agrícola el principal producto en el desarrollo de económico de Timaná, es el café con 2.850 hectáreas y una producción de 4.275 Toneladas (34.200 Cargas), cuyo valor comercial asciende aproximadamente a (\$11.970.000.000), este cultivo en la actualidad está posicionando en el mercado internacional ya el 40% que se produce se cataloga como café especial, generando unas rentabilidades adicionales para los productores. Sin embargo, el restante 60% es indispensable fortalecerlo sistema de secado y el beneficio con instalación y mejoramiento de infraestructura. En el sector pecuario cuenta con 5.980 hectáreas de pastos, correspondiente al 30.51% del total del Municipio. Existe un inventario de 6.640 cabezas de ganado vacuno. El sector agropecuario le permite a la población de Timaná, obtener la mayoría de sus ingresos, lo que indica que es el eje principal de desarrollo económico del municipio, especialmente con el cultivo del café y la explotación del ganado vacuno.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA FINCA DE ECONOMÍA FAMILIAR

La finca “El Chontaduro” se encuentra ubicada a 5 kilómetros de la cabecera municipal del Municipio de Timaná, en una vía alterna que conecta al municipio con el municipio de la Mesa de Elías, en lo que corresponde a la vereda Potrerillos. Ésta, cuenta con un total de 32 hectáreas dentro de las cuales se encuentran 2 nacederos que funcionan como fuente principal de agua de la finca, aunque también se cuenta con el servicio del acueducto de la vereda. Adicional a esto, la finca sigue los parámetros de buenas prácticas indicadas por la Asociación de Ganaderos del Sur del Huila ASAGAH.

³² ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ. *Ibíd.*

³³ ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ. *Ibíd.*

Imagen 6. Entrada a la finca "El Chontaduro".



Fuente: elaboración propia.

Es importante destacar que la principal fuente de energía para la preparación de alimentos dentro de la finca consiste en una estufa de leña. Por lo cual, la generación de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos de ganado lechero sería un aspecto bastante importante a tener en cuenta para mejorar la calidad de vida de las personas que habitan la misma.

Imagen 7. Estufa de leña utilizada por los habitantes de la finca "El Chontaduro".



Fuente: elaboración propia.

El ganado de la finca consta principalmente de 15 vacas lecheras (de las cuales se deriva la principal actividad productiva que se realiza, la cual es el ordeño) cuyas principales razas son Ayrshire y Girolando. Adicional a esto, dentro del ganado se encuentra un toro de raza Girolando y 15 terneros que son resultado del cruce entre el toro y el ganado lechero.

Imagen 8. Ganado lechero dentro del establo previo el proceso de ordeño.



Fuente: elaboración propia.

Como ya se mencionó anteriormente, la principal actividad que se desarrolla en la finca es el ordeño. Todos los días se lleva el ganado al establo cerca de las 5:00 de la mañana con el fin de realizar dicha actividad, para lo cual se estima un gasto de tiempo de 3 horas mientras además del ordeño se les da cuidado. El promedio diario de producción de cada vaca es de cerca de 15 litros, para un total de alrededor de 225 litros de leche.

El alimento principal del ganado lechero consiste principalmente en pasto picado (obtenido en un sector específico de la finca), concentrado miel de purga y sal, esto durante el proceso de ordeño. Posteriormente, son liberadas en un área de pastoreo donde descansan y pastan el resto del día.

Imagen 9. Porción del área de pastoreo de la finca.



Fuente: elaboración propia.

2.3 CUANTIFICACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS GENERADOS

La finca “El Chontaduro” cuenta con un sistema de drenaje dentro del establo de ordeño, para el cual, una vez realizado toda la actividad, los residuos sólidos orgánicos producidos se introducen en este con el fin de llegar a un contenedor de cemento (sedimentador) de fabricación artesanal que se encuentra a unos 5 metros del establo.

El sistema de drenaje aprovecha la gravedad para transportar todos los residuos hasta el contenedor de cemento (sedimentador). Se estima que dicho contenedor posee unas dimensiones de 2 metros de profundidad, 3 metros de largo y 1.5 metros de ancho, para un total de 9 metros cúbicos de volumen.

Imagen 10. Contenedor de residuos sólidos orgánicos que llegan desde el establo de ordeño.



Fuente: elaboración propia.

Según fue consultado por los administradores de la finca, el contenedor se llena por completo en 7 días (de Domingo a Domingo). El contenido de dicho contenedor consiste en residuos sólidos orgánicos y agua utilizada para la limpieza del establo de ordeño.

Cabe mencionar que para el propósito de esta investigación se va a tener en cuenta los residuos producidos principalmente durante el proceso de ordeño, pues se considera que los costos y el esfuerzo que implicaría recoger los residuos del ganado en la zona de pastoreo generado por las irregularidades del terreno excedería el presupuesto básico que maneja una finca de economía familiar.

En resumen, los datos que se utilizarán para la evaluación de las alternativas se recopilan en el cuadro1, presentado a continuación. En este cuadro se observa para una finca de dimensiones de la finca “El Chontaduro” una producción por ordeño de residuos sólidos orgánicos de 9 metros cúbicos en 7 días, que se acumulan en un sedimentador que recoge el agua de lavado del establo.

Tabla 1. Resumen datos de la finca “El Chontaduro”.

Finca:	El Chontaduro.
Ámbito económico:	Campesina – Ganadera.
Número de Semovientes:	15 (correspondiente al ganado lechero).
Dimensiones contenedor (sedimentador):	2 metros de profundidad, 3 metros de largo y 1.5 metros de ancho.
Capacidad contenedor (sedimentador):	9 m ³
Tiempo de llenado:	7 días.

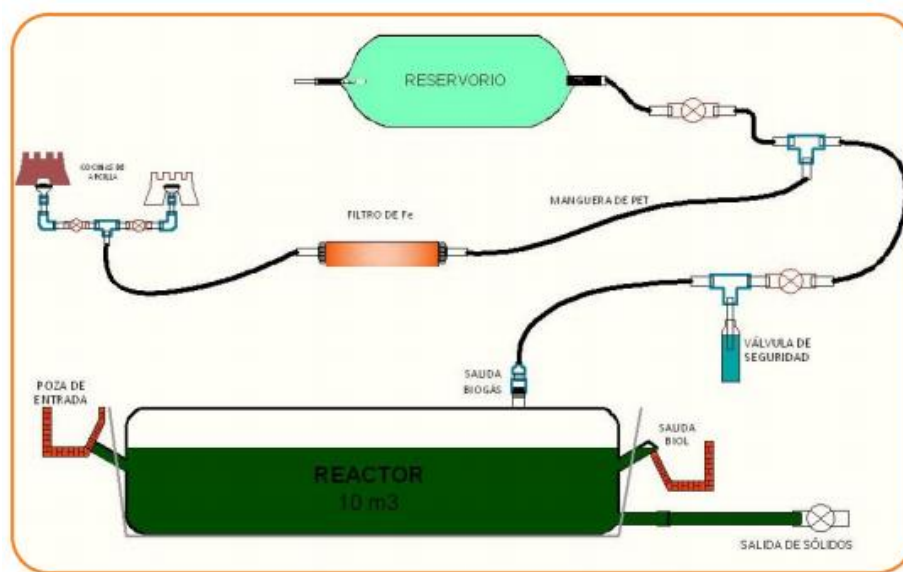
Fuente: elaboración propia.

3. DETERMINACIÓN DE BIODIGESTORES PARA LA FINCA “EL CHONTADURO”

Como se mencionó en el marco conceptual, existen, según GONZALES et al³⁴, 2 grandes grupos de biodigestores (tradicionales e industriales) dentro de los cuales se encuentran los biodigestores que son usados más comúnmente en procesos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

En la siguiente imagen se presenta el esquema general de un biodigestor unifamiliar:

Imagen 11. Biodigestor tubular unifamiliar.



Fuente: MINISTERIO DE AGRICULTURA DE PERÚ. Biodigestores en el Perú. [Sitio web]. P. 4. [Consultado en 12 de diciembre de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/bioenergia/biodigestores.pdf>

De acuerdo con esta clasificación, se determinarán las características de cada uno de los biodigestores, las cuales a su vez serán tenidas en cuenta para el capítulo 3.

³⁴ Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

3.1 BIODIGESTORES TRADICIONALES

Según GONZALES et al³⁵, 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. Estos 3 tipos se describirán de una manera mejor detallada a continuación:

3.1.1 Biodigestor de domo flotante. De acuerdo con GONZALES et al³⁶ Es usualmente usado en la India. Se le denomina biodigestor de domo flotante porque la cámara de recolección de biogás se mueve conforme la cantidad de gas se acumula. Se desplaza hacia arriba cuando el gas se acumula y se desplaza hacia abajo cuando se extrae. El depósito de biogás es una campana flotante que, gracias a ese movimiento vertical, provee alguna agitación a la mezcla.

Según CORONA³⁷ las principales ventajas de este tipo de digestor son su operación simple y fácil de entender (el volumen de gas es visible directamente), la presión de gas es constante (determinada por el peso del recipiente del gas) y construcción relativamente fácil.

De igual manera, CORONA³⁸ menciona que las principales desventajas son los altos costos de los materiales para el tambor de acero, susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero, tiempo de vida corto, costos fijos de mantenimiento para pintar el tambor.

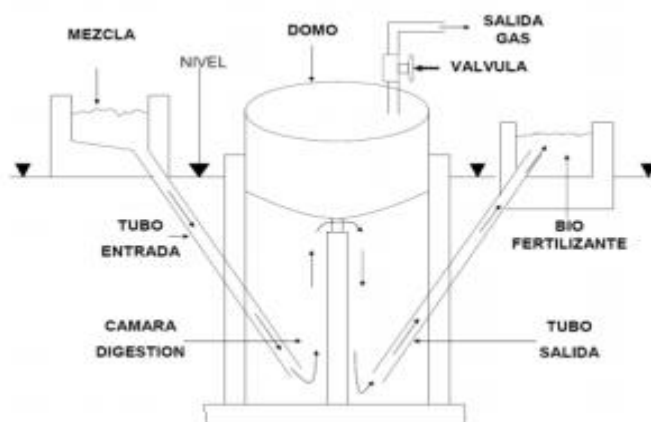
³⁵ *Ibíd.*, P. 39.

³⁶ *Ibíd.*, P. 39.

³⁷ CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

³⁸ *Ibíd.*, P. 25.

Imagen 12. Esquema de biodigestor de domo flotante.

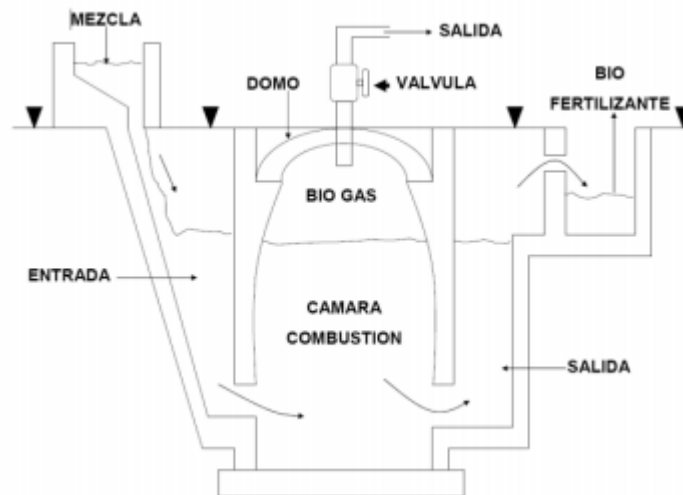


Fuente: Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllo

3.1.2 Biodigestor de domo fijo. Según GONZALES et al³⁹, usualmente usado en China, este tipo de biodigestor consiste en una cámara de gas-firme construido de ladrillos, piedra u hormigón. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme. Además, la base y la tapa tienen una forma de semiesfera y son unidas por lados rectos.

³⁹ Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Imagen 13. Esquema de biodigestor de domo fijo.



Fuente: Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Según CORONA⁴⁰ Las ventajas de este tipo de digestor son principalmente costos de producción relativamente bajos, larga vida útil, construcción subterránea que ahorra espacio y protege al digestor de cambios de temperatura, su construcción implica la creación de fuentes de empleo.

CORONA⁴¹ menciona que las principales desventajas de este tipo de biodigestor son los frecuentes problemas con la permeabilidad para gases del recipiente de ladrillo para el gas, las plantas de domo fijo, sólo son recomendables cuando la construcción puede ser supervisada por técnicos experimentados en biogás, la presión de gas fluctúa sustancialmente dependiendo del volumen de gas almacenado.

⁴⁰ CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

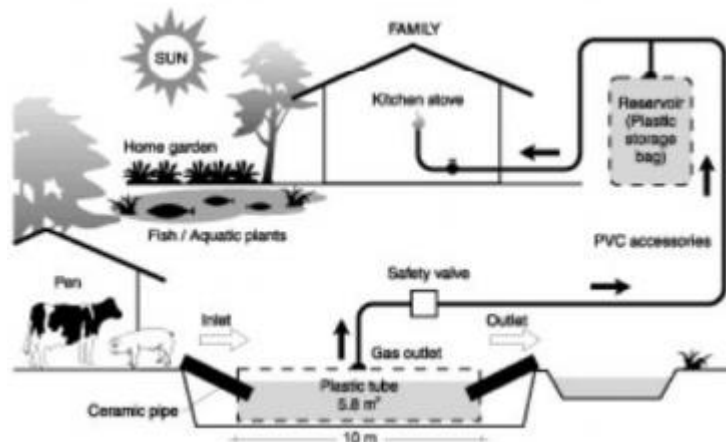
⁴¹ *Ibíd.*, P. 23.

3.1.3 Biodigestor de estructura flexible. Según GONZALES et al⁴², debido al alto costo que se requería para poder implementar los dos anteriores tipos de biodigestores ya explicados, tuvieron que recurrir a otras opciones para poder obtener el biogás. Inicialmente, los trabajadores de Taiwán utilizaron nylon y neopreno, pero resultaron igual de costosos. Es por esto, que luego de unos años, se comenzó a utilizar el polietileno, el cual es el más usado actualmente en América Latina, Asia y África.

CORONA⁴³, menciona, además, que este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Adicionalmente, hace énfasis en que estos biodigestores tiene un promedio de vida de 20 años, en el caso que se presente rupturas pueden ser fácilmente reparadas y que posee altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado.

Según CORONA⁴⁴, dentro de las principales desventajas de este tipo de digestor se encuentra que su tiempo de vida es corto, alta susceptibilidad a ser dañado, baja generación de empleo y por lo tanto limitado potencial de autoayuda.

Imagen 14. Esquema de biodigestor de plástico.



Fuente: Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴² Gonzales, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴³ CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

⁴⁴ *Ibíd.*, P. 20.

3.2 BIODIGESTORES INDUSTRIALES

Según GONZALES et al⁴⁵, 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.

3.3 OTROS BIODIGESTORES

Según el MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA⁴⁶, otros biodigestores que se encuentran son:

3.3.1 Biodigestores horizontales. Según el MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE – MINENERGÍA⁴⁷, Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.

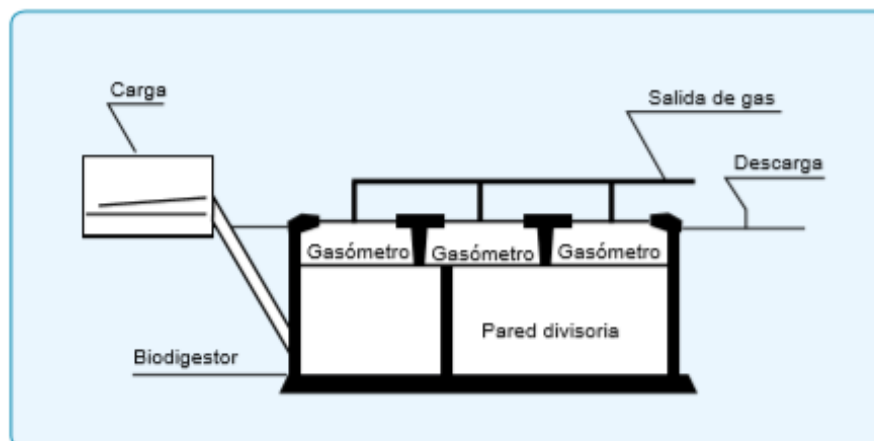
Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

⁴⁵ GONZALES, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

⁴⁶ MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 19. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

⁴⁷ *Ibíd.*, P. 100.

Imagen 15. Biodigestor horizontal.



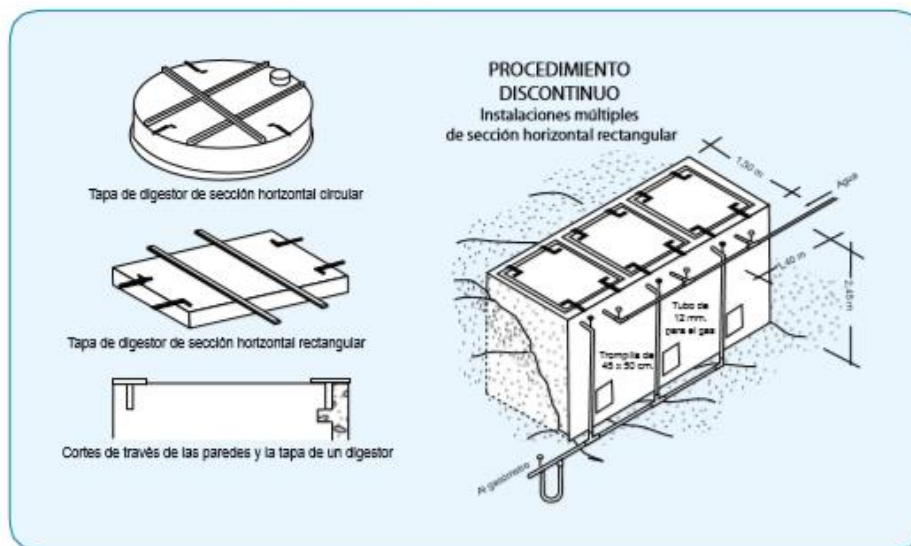
Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 19. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

3.3.2 Biodigestor Batch (discontinuo o régimen estacionario). Según el MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE – MINENERGÍA⁴⁸, Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Su alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás.

Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico.

⁴⁸ *Ibíd.*, P. 100.

Imagen 16. Biodigestor discontinuo o batch.



Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 19. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

3.4 PARTES DE UN BIODIGESTOR

De acuerdo con CORONA⁴⁹, un biodigestor se compone de 6 partes principales. Estas se sintetizan en la tabla que se muestra a continuación:

⁴⁹ CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

Cuadro 2. Partes de un biodigestor.

PARTE	CARACTERÍSTICA / FUNCIÓN
Tanque de carga	Es el ducto por el cual va a ser eliminado el digestor y está constituido de ladrillo común y su superficie interna lleva un aplanado de cemento.
Tanque de descarga	Es el ducto por medio del cual se extraen los lodos residuales producto de la digestión anaeróbica y está elaborado con los mismos materiales y de la misma forma que el tanque de carga.
Tanque de almacenamiento de gas	Para los digestores de domo fijo y de domo flotante el tanque de almacenamiento consiste en una construcción circular o cuadrada de ladrillo con un acabado por adentro de cemento pulido y para los digestores de globo consistirá en una bolsa de material plástico resistente a la corrosión y al medio agresivo.
Línea de conducción	Las plantas de biogás utilizan generalmente mangueras de PVC, debido a que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico.
Válvulas	Se utilizan mínimo dos válvulas para gas, la primera o principal irá instalada inmediatamente al comienzo de la conducción y sobre el niple de salida. La segunda se monta al final de la línea, en el lugar de uso.
Trampas	Están directamente involucradas en el proceso de purificación del gas, liberándolo de ácido sulfhídrico y agua para su posterior uso.

Fuente: elaboración propia.

4. EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGAS EN LA FINCA “EL CHONTADURO”.

4.1 SOFTWARE PARA REALIZAR LA EVALUACIÓN

El software que se va a implementar para realizar la evaluación de las tecnologías de biodigestores presentes en el mercado con el fin de encontrar la más viable y la mejor alternativa para una finca de economía familiar es el SuperDecisions.

El software SuperDecisions⁵⁰ se utiliza para la toma de decisiones con dependencia y retroalimentación. Implementa el proceso de jerarquía analítica (AHP) y el proceso de red analítica (ANP).

Este software proporciona herramientas para crear y administrar modelos AHP y ANP, ingresar sus juicios, obtener resultados y realizar análisis de sensibilidad en los resultados. También proporciona soporte para modelos BOCR complejos y multinivel (Beneficios - Oportunidades - Costos - Riesgos).

Cabe mencionar que este software es de libre acceso, y para su uso solo es necesario descargar la aplicación desde el sitio web y crear una cuenta, con lo cual se adquiere un número de serie para ingresar y hacer uso del programa.

4.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE

Luego de la revisión bibliográfica sobre los tipos de biodigestores disponibles en el mercado y de entender cuáles son sus ventajas y desventajas, se seleccionaron los siguientes criterios:

- **Construcción:** En este criterio se tiene en cuenta principalmente el tipo de materiales que utilizaría el biodigestor. Además, se tiene en cuenta si estos materiales son, o no, perjudiciales para el medio ambiente y su dificultad de consecución.
- **Impacto visual:** En este criterio se tiene en cuenta, dependiendo las dimensiones del biodigestor (que es estándar para cada una de las alternativas), qué tanto impacto generaría para las personas que lo vean.
- **Costos:** Este criterio va bastante ligado con el primer criterio y está relacionado con qué tan costosos son los materiales que se implementarían para la construcción del biodigestor.

⁵⁰ SUPERDECISIONS. SuperDecisions Tutorials. [Sitio web]. [Consultado en 07 de enero 2020]. Disponible en: <https://www.superdecisions.com/tutorial/>

- Durabilidad y mantenimiento del biodigestor: En este criterio se evalúa principalmente qué tanto tiempo duraría el biodigestor y qué tan difícil y costoso es realizar el mantenimiento.
- Presión de operación: 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.

4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE Y SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA MÁS VIABLE

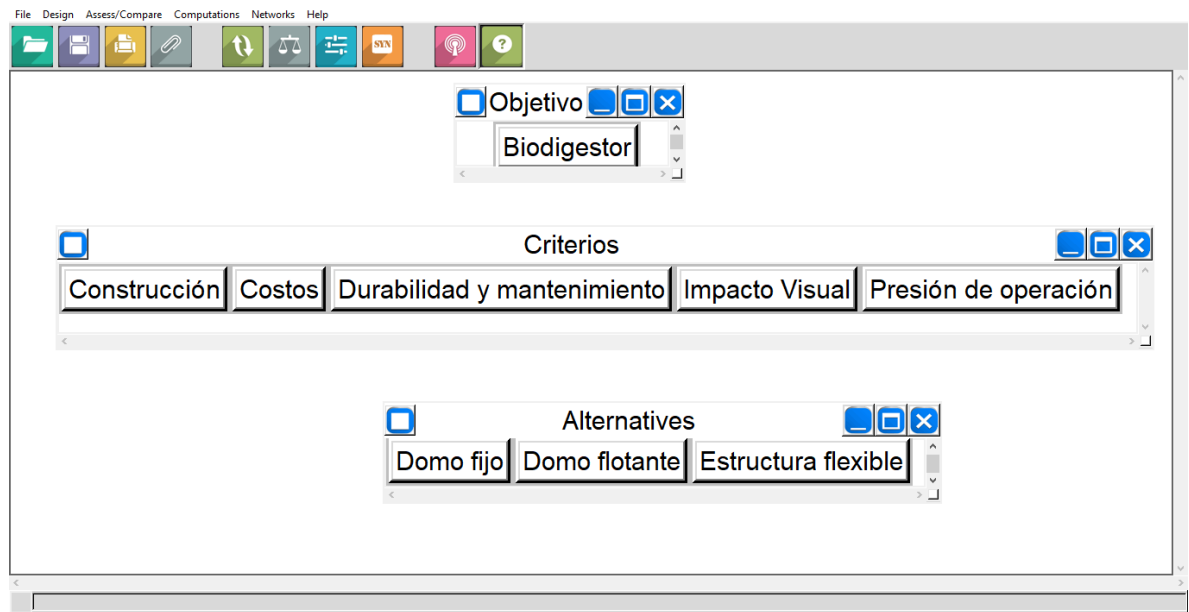
En el capítulo anterior se explicaron algunos de las tecnologías más comunes y que se encuentran en el mercado de biodigestores. Dentro de estas tecnologías destacan: biodigestor de domo flotante, biodigestor de domo fijo, biodigestor de estructura flexible, biodigestores industriales, biodigestores horizontales y biodigestores tipo Batch.

De estas tecnologías y de sus características, se pueden descartar algunas desde el comienzo por las dificultades de su construcción y los altos costos que estos suponen. Dentro de las opciones descartadas están:

- **Biodigestores industriales:** este tipo de biodigestores 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.
- **Biodigestores horizontales:** este tipo de biodigestores 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.
- **Biodigestores tipo Batch:** aunque 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.

Una vez mencionado esto, el siguiente paso es introducir los criterios y las tecnologías disponibles (clusters) con sus respectivos nodos dentro del software SuperDecisions, como se muestra a continuación:

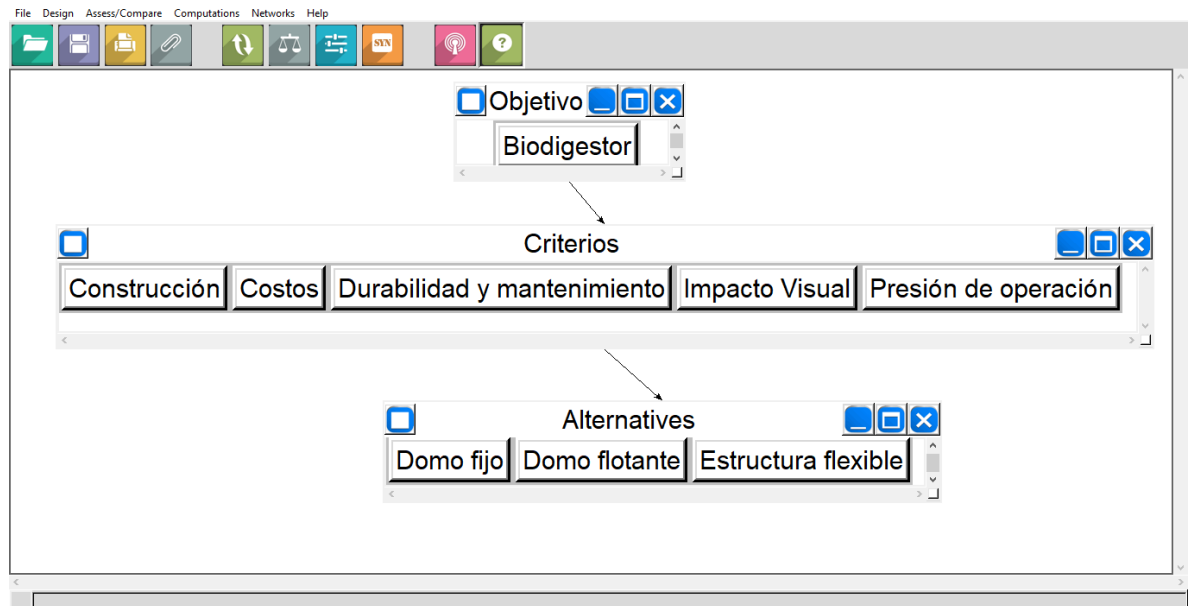
Imagen 17. Introducción de criterios y alternativas en el software SuperDecisions.



Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso es relacionar el objetivo (biodigestor) con cada criterio y posteriormente, relacionar cada uno de los criterios con cada una de las alternativas. Una vez realizado esto, cada clúster va a estar unido con una flecha como se muestra a continuación:

Imagen 18. Relación de objetivo, criterios y alternativas en el software SuperDecisions.



Fuente: elaboración propia.

Una vez realizado esto, el siguiente paso es evaluar los criterios con diferentes ponderaciones con números del 1 al 9 donde 1 significa que tiene la misma importancia, 3 significa que el elemento A es ligeramente más importante que el elemento B, 5 significa que el elemento A es más importante que el elemento B, 7 significa que el elemento A es mucho más importante que el elemento B y 9 significa que el elemento A es mucho más fuertemente importante que el elemento B.

Si el elemento B fuera más importante que el elemento A lo que se hace es implementar su recíproco, es decir, por ejemplo, ya no sería 1, si no $1/3$ y así sucesivamente.

Los niveles de importancia entre los criterios se muestran en la siguiente tabla de comparación de criterios:

Tabla 2. Comparación de niveles de importancia entre los criterios.

AHP	Construcción (B1)	Costos (B2)	Durabilidad y mantenimiento (B3)	Impacto visual (B4)	Presión de operación (B5)
Construcción (A1)	1	1	3	5	3
Costos (A2)	1	1	3	5	3
Durabilidad y mantenimiento (A3)	1/3	1/3	1	5	3
Impacto visual (A4)	1/5	1/5	1/5	1	1/3
Presión de operación (A5)	1/3	1/3	1/3	3	1

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 4 cabe mencionar que el orden jerárquico de importancia entre los criterios de mayor a menor importancia respectivamente resulta ser: construcción y costos con el mayor porcentaje, seguido por durabilidad y mantenimiento, presión de operación y finalmente impacto visual.

Una vez realizado esto, se introducen los datos directamente en el software, en la sección de Assess/Compare → Pairwise Comparisons. Los datos introducidos dentro del software se muestran a continuación:

Imagen 19. Introducción de valores de importancia de criterios dentro del software SuperDecisions.

The screenshot shows the SuperDecisions software interface during the comparison phase. The central panel displays a comparison matrix for 10 criteria. The criteria are: 1. Construcción, 2. Construcción, 3. Construcción, 4. Construcción, 5. Costos, 6. Costos, 7. Costos, 8. Durabilidad y m~, 9. Durabilidad y m~, and 10. Impacto Visual. Each comparison is shown as a 9x9 grid with values from 1 to 9. The right panel shows the results table with weights for each criterion: Construcción (0.33509), Costos (0.33509), Durabilidad (0.18081), Impacto V- (0.04808), and Presión d- (0.10093). The inconsistency level is 0.05351.

Fuente: elaboración propia.

Una vez introducidos los datos, en la parte izquierda de la pantalla en la sección de Resultados, se muestra el nivel de importancia final por cada criterio, siendo construcción y costos los criterios más importantes que van a ser tenidos en cuenta para la selección de la tecnología más viable. Adicional a esto, se observa un nivel de inconsistencia de 0.05351 lo cual es bastante bajo.

Una vez realizado esto, el siguiente paso es evaluar cada una de las alternativas criterio por criterio. Los datos a introducir dentro del software se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 3. Comparación de alternativas según el criterio de construcción.

Criterio 1			
Construcción			
AHP	Domo Fijo (B1)	Domo Flotante (B2)	Estructura flexible (B3)
Domo fijo (A1)	1	1/3	1/3
Domo Flotante (A2)	3	1	1/3
Estructura flexible (A3)	3	3	1

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 5 se destaca que los materiales de construcción para el domo flotante son más complicados de conseguir y menos amigables con el medio ambiente por el tambor de acero que debe implementarse, a comparación de los otros biodigestores. Entre el biodigestor de domo fijo y estructura flexible resulta más fácil conseguir los materiales del segundo (propileno) y se necesitan menos materiales entre este y el biodigestor de domo fijo (necesita cemento, ladrillos y necesita una mayor cantidad de gente para su construcción).

Tabla 4. Comparación de alternativas según el criterio de costos.

Criterio 2			
Costos			
AHP	Domo Fijo (B1)	Domo Flotante (B2)	Estructura flexible (B3)
Domo fijo (A1)	1	5	1/3
Domo Flotante (A2)	1/5	1	1/5
Estructura flexible (A3)	3	5	1

Fuente: elaboración propia.

El biodigestor más costoso resulta ser el biodigestor de domo flotante principalmente por el tambor de acero. Seguido se encuentra el biodigestor de domo fijo que necesita un mayor número de personas implicadas en su construcción. Finalmente, está el biodigestor de estructura flexible cuyos costos se derivan principalmente de la excavación para introducir el tanque además de los materiales.

Tabla 5. Comparación de alternativas según el criterio de durabilidad y mantenimiento

Criterio 3			
Durabilidad y mantenimiento			
AHP	Domo Fijo (B1)	Domo Flotante (B2)	Estructura flexible (B3)
Domo fijo (A1)	1	3	1/5
Domo Flotante (A2)	1/3	1	1/5
Estructura flexible (A3)	5	5	1

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a durabilidad y mantenimiento, resulta ser más longevo y más fácil de mantener el biodigestor de estructura flexible, con un tiempo de vida de 20 años y fácil mantenimiento en caso de fugas o roturas. El biodigestor domo fijo presenta altos costos de mantenimiento por la posibilidad de permeación de gas a través de los ladrillos y corrosión dentro de su estructura. Finalmente, el biodigestor de domo flotante presenta un tiempo de vida corto y altos costos de mantenimiento derivados de la corrosión del tambor de acero y pintura del mismo.

Tabla 6. Comparación de alternativas según el criterio de impacto visual.

Criterio 4			
Impacto visual			
AHP	Domo Fijo (B1)	Domo Flotante (B2)	Estructura flexible (B3)
Domo fijo (A1)	1	3	1/3
Domo Flotante (A2)	1/3	1	1/3
Estructura flexible (A3)	3	3	1

Fuente: elaboración propia.

El impacto visual no resulta ser muy diferente entre los 3 biodigestores. El biodigestor de estructura flexible se puede enterrar casi que por completo generando menor impacto visual que los otros dos biodigestores. Por otra parte, el biodigestor de domo flotante posee el domo semiesférico en la superficie por lo cual genera mayor impacto visual que el biodigestor de domo fijo.

Tabla 7. Comparación de alternativas según el criterio de presión de operación.

Criterio 5			
Presión de operación			
AHP	Domo Fijo (B1)	Domo Flotante (B2)	Estructura flexible (B3)
Domo fijo (A1)	1	1/5	1/3
Domo Flotante (A2)	5	1	3
Estructura flexible (A3)	3	1/3	1

Fuente: elaboración propia.

Los biodigestores de domo flotante y estructura flexible poseen una presión de gas constante, mientras que el biodigestor de domo fijo presenta una presión fluctuante de gas que se deriva de la cantidad de materia orgánica presente dentro del tanque.

Finalmente, una vez introducido todos los valores dentro del software SuperDecisions, se obtiene el que sería la mejor alternativa de acuerdo con los parámetros introducidos al mismo. Esto se encuentra en la sección Computations → Synthesize.

Los resultados obtenidos muestran que la alternativa más viable de construcción de biodigestor es el **biodigestor de estructura flexible**, como se muestra a continuación:

Imagen 20. Resultados obtenidos en el software SuperDecisions.

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives.
You synthesized from the network Super Decisions Main Window: Unnamed file 0

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
Domo fijo		0.351894	0.205336	0.102668
Domo flotante		0.361856	0.211149	0.105574
Estructura flexible		1.000000	0.583516	0.291758

Okay Copy Values

Fuente: elaboración propia.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con la descripción de la finca “El Chontaduro” se determinó que esta si cumplía con los criterios para definirla como una finca de economía familiar, pues consta de un núcleo familiar donde cada miembro conoce su función y trabaja con el objetivo de su sustento en un sistema de microeconomía.

Entendiendo esto, se conocieron las diferentes tecnologías disponibles tanto en la literatura como en el mercado que se adecuaran con las necesidades propias de la finca de economía familiar. Se estudiaron los biodigestores de domo fijo, de domo flotante, de estructura flexible y otros biodigestores. Fueron descartados desde el inicio 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.

Estos criterios, fueron, entre otros, dificultad de construcción y de mantenimiento, y un tamaño mínimo que no era apropiado para la cantidad de residuos sólidos orgánicos producidos. Estas consideraciones plantearon desde el inicio situaciones que no iban a poder ser sorteadas por una finca de economía familiar.

Determinadas las tecnologías que se iban a evaluar con el fin de tomar la mejor decisión, se planteó el uso del software SuperDecisions, el cual se consideró bastante útil pues es el usuario quien propone los criterios que van a ser tenidos en cuenta para la toma de la decisión. Así como también, el peso que cada uno de estos criterios va a tener en el proceso de selección.

Los criterios que fueron tenidos en cuenta se seleccionaron de acuerdo con las características disponibles en la literatura. De esta manera, se contaba con que de cada opción se pudiese contar con información disponible para ser ingresada en el software de toma de decisiones.

Se seleccionaron criterios como construcción, costos, durabilidad y mantenimiento, impacto visual y presión de operación como aquellos a ser tenidos en cuenta durante el proceso de selección y que fueron introducidos en SuperDecisions.

Los resultados que fueron arrojados por el programa, mostraron que la mejor opción de tecnología para ser implementada en la finca de economía familiar, con las características de esta en particular (teniendo en cuenta la cantidad de bovinos y la cantidad de residuos sólidos orgánicos que estos producían en un periodo de 7 días), fue el biodigestor de estructura flexible, con un porcentaje de 58.35%.

Realmente, 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.

Un caso de implementación con éxito de este tipo de biodigestor en una finca de economía familiar, o microeconomía, lo presenta RODRIGUEZ⁵¹, 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.

Cabe mencionar que la implementación de este tipo de biodigestores (de estructura flexible), constituye una gran alternativa para ser tomada en cuenta por los campesinos de la región, como una alternativa de aprovechamiento sostenible de los residuos sólidos orgánicos generados durante el proceso productivo que lleven a cabo.

Con esta alternativa, además de que se evita el manejo inapropiado de los residuos sólidos inorgánicos, se genera biogás que puede ser usado dentro de la misma finca para otras actividades e incluso, para vender y obtener un ingreso adicional, y se genera abono que puede ser utilizado en el pasto que será alimento del ganado o en otros cultivos que se tengan.

⁵¹ RODRIGUEZ, Luis. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU. [Repositorio institucional EAN]. P. 6. [Consultado en 18 enero de 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1560/RodriguezLuis2014.pdf;jsessionid=9FF1288017AFA5CDF799C88321B94672?sequence=1>.

6. CONCLUSIONES

- La cantidad de residuos sólidos orgánicos generados en la finca de economía familiar “El Chontaduro” fue de 9 metros cúbicos/semana, los cuales se disponen como material de abono para la manga de consumo para el ganado lechero. Se considera que esta cantidad es suficiente para las características de operación y manejo tanto del biodigestor seleccionado como la viabilidad de la finca.
- Se determinaron varias tecnologías de biodigestores disponibles en la literatura y el mercado, los cuales muestran biodigestores como: biodigestores de domo flotante, de domo fijo, de estructura flexible, horizontales, tipo Batch, entre otros. De estos, se seleccionaron las mejores 3 tecnologías que se adecuaban a las características de la finca, como la capacidad de la infraestructura existente, la cantidad de residuos orgánicos producidos y la productividad de la finca.
- Las 3 tecnologías de biodigestores previamente seleccionadas se sometieron a un criterio de selección para obtener la mejor decisión para sugerir su implementación en los procesos de la finca. Esta toma de decisión realizada en el software SuperDecisions, mediante la introducción de criterios de selección como construcción, costos, durabilidad y mantenimiento, impacto visual y presión de operación, predijo que la mejor tecnología de biodigestión para implementar dentro de la finca de economía familiar “El Chontaduro” fue el biodigestor de estructura flexible.
- La tecnología seleccionada ofrece ventajas de bajo costo, fácil instalación y mantenimiento y fácil adquisición de materiales la cuál aumentará la eficiencia de producción de abono en un 25% es decir que reduce la obtención del abono en una semana. Además, se contribuye a la disminución de CO₂ puesto que en la finca solamente se cocinaba con leña y con la nueva tecnología habrá un suministro constante de biogás.

7. RECOMENDACIONES

- Una vez implementada la tecnología en la finca “El Chontaduro” se necesita realizar el monitoreo para optimizar el proceso que garantice las mayores eficiencias de producción de abono y biogás para la finca.
- En dado caso que se aumente el número de cabezas de ganado lechero y que se suba en gran medida la cantidad de residuos sólidos orgánicos, se recomienda la construcción de un nuevo biodigestor para no alterar el proceso.
- Se recomienda realizar otro estudio similar en las fincas de los alrededores, utilizando como estudio piloto la presente monografía.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPAL DE TIMANÁ. Nuestro municipio. [Sitio web]. [Consultado en 16 de diciembre 2019] Disponible en: <http://www.timana-huila.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

ARRIETA, Winston. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. [Repositorio Institucional Pirhua]. Piura. 2016. P. 6. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2575>

BRUNDTLAND, Harlem. Nuestro Futuro Común. [Sitio web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_Lecture_1/CMMA-D-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf

CORONA, Iván. Biodigestores. [Repositorio Institucional Uaeh]. P. 19. Hgo. México. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10722/Biodigestores.pdf?sequence=1>

FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS – FEDEGAN. Módulo Empresa Ganadera. [Sitio web]. P. 15. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <file:///D:/Especialización%20G.A/Monografía/Monografías%20base/Manual%20de%20empresas%20ganaderas-%20fedegan.pdf>

FEDERACIÓN DE ASOCIACIONES DE CONSUMIDORES Y USUARIOS DE ANDALUCÍA – FACUA. Gestión Eficaz de la Economía Doméstica. [Sitio web]. P. 3. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: https://www.facua.org/es/guias/economia_domestica_sevilla.pdf

FLORES, Dante. Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Guía Práctica No.2. marzo 2001; pág. 8-12.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Agricultura Familiar: alimentar al mundo, cuidar el planeta. [Sitio web]. [Consultado 15, septiembre, 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/republica-dominicana/programas-y-proyectos/historias-de-exito/agricultura-familiar/en/>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Bioenergía y Seguridad Alimentaria, Evaluación Rápida (BEFS RA), Manual de Usuario. [Sitio web]. P. 10. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-bp843s.pdf>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Los 10 elementos de la agroecología, guía para la transición hacia sistemas alimentarios y agrícolas sostenibles. [Sitio web]. P. 2. [Consultado 14, noviembre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9037es/I9037ES.pdf>

GONZALES, Exequiel, et al. Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria Campos del Chira E.I.R.L. [Repositorio Institucional Pirhua]. P. 39. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo PDF. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE - MINENERGÍA. Manual de Biogás. [Sitio web]. P. 19. Santiago de Chile. [Consultado 22, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE DE PERÚ – MINAM. Residuos y áreas verdes. [Sitio web]. P. 8. [Consultado 24, octubre, 2019]. Archivo en PDF. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-2.-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-2.pdf>

PLAN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – PNUD. Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. [Sitio Web]. [Consultado 22, octubre, 2019]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>.

RODRIGUEZ, Luis. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU. [Repositorio institucional EAN]. P. 6. [Consultado en 18 enero de 2020]. Archivo en PDF. Disponible en: <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1560/RodriguezLuis2014.pdf;jsessionid=9FF1288017AFA5CDF799C88321B94672?sequence=1>.

SUPERDECISIONS. SuperDecisions Tutorials. [Sitio web]. [Consultado en 07 de enero 2020]. Disponible en: <https://www.superdecisions.com/tutorial/>