

**UNELLEZ
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA
Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR
SAN CARLOS – VENEZUELA**



**PROPUESTA DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA EL DESARROLLO
SUSTENTABLE DE LA FINCA CENTENERA, MUNICIPIO RICAURTE
ESTADO COJEDES**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Producción Animal

Br. Javier Agustín Ramires Montilla
Br. Javier José Ramires Gómez
Tutor: Ing. Diego Pineda

Febrero, 2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL
DE LOS LLANOS OCCIDENTALES
“EZEQUIEL ZAMORA”
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA
Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y MAR
SAN CARLOS - VENEZUELA**

San Carlos, 22 de enero del 2025

Ciudadanos:

Profesor: Cesar Calzadilla

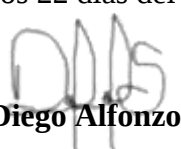
**Presidente y demás miembros de la Comisión Asesora del Programa de Ciencias
del Agro y del Mar UNELLEZ San Carlos.**

Presente.-

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo Prof. Diego Alfonzo Pineda Oviedo, cédula de identidad N° 17.889.627, hago constar que he leído el Trabajo de Grado, titulado “PROPUESTA DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA FINCA CENTENERA MUNICIPIO RICAURTE ESTADO COJEDES” presentado por el (los) bachilleres Javier Agustín Ramires Montilla , titular de la Cédula de Identidad N° 30.076.682 y Javier José Ramires Gómez Cédula de identidad N° 11.962.773, para optar al título de Ingeniero (a) en Producción Animal, del Programa Ciencias del Agro y del Mar, y cumple con los requisitos para su presentación y evaluación.

En la ciudad de San Carlos, a los 22 días del mes de enero del año 2025.


Prof. Diego Alfonzo Pineda

C.I. N° 17.889.627

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	iii
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
I.1. EL PROBLEMA.....	3
I.1.1 Planteamiento del problema	3
I.1.2 Justificación de la investigación	8
I.1.3 Formulación de objetivos	10
I.1.3.1 Objetivo general.....	10
I.1.3.2 Objetivos específicos.....	10
I.1.4 Alcances y Limitaciones.....	10
I.1.4.1 Alcances.....	10
I.1.4.2 Limitaciones	11
I.1.5 Ubicación Geográfica	12
I.1.6 Costo del proyecto	12
CAPÍTULO II	13
II.1 MARCO TEÓRICO	13
II.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	13
II.1.2 BASES TEÓRICAS	20
II.1.2.1 Introducción a la Producción Animal Sostenible	20
II.1.2.2 Biodigestión Anaeróbica: Un Proceso Clave	21
II.1.2.2.1 Principios básicos	22
II.1.2.2.1.1 Biomasa.....	22
II.1.2.2.1.2 Tipos de biomasa.....	22
II.1.2.2.1.3 Procesos de conversión de la biomasa en energía	23
II.1.2.2.2 Productos de la biodigestión.....	24
II.1.2.2.3 Ventajas de la biodigestión.....	25
II.1.2.2.4 Factores que Afectan la Biodegradación.....	27
II.1.2.3.1 Tipos de Biodigestores y sus Características.....	28
II.1.2.3.1.1 Partes de un Biodigestor	28
II.1.2.3.1.2 Ventajas y desventajas de los biodigestores Según Anders K (2015).....	31
II.1.2.3.1.3 Biodigestor de Tanque Agitado Continuo (CSTR)	32
II.1.2.3.1.4 Biodigestor de Flujo Pistón (PFR)	33
II.1.2.3.1.5 Biodigestor de Lecho Fijo	33
II.1.2.3.1.6 Biodigestor de Membrana	35
II.1.2.4.1 Biogás: Composición y Usos	35
II.1.2.4.1.1 Breve historia y perspectivas.....	35
II.1.2.4.1.2 El biogás en el ámbito mundial	37
II.1.2.4.1.3 ¿Cómo se forma el biogás?.....	37
II.1.2.4.1.4 Digestión anaeróbica	38
II.1.2.4.1.5 Los tres pasos de la producción de biogás.....	39
II.1.2.4.2 Composición del Biogás.....	40
II.1.2.4.3 Purificación del Biogás	41
II.1.2.4.4 Usos del Biogás	42
II.1.2.4.4.1 Factores que Afectan el Poder Calorífico del Biogás.....	43

II.1.2.4.5.1 Materiales de Construcción, Factores de Diseño, Operación y Mantenimiento de Biodigestores.....	44
II.1.2.4.5.2 Materiales de Construcción.....	44
II.1.2.4.5.3 Factores de Diseño	45
II.1.2.4.5.4 Operación y Mantenimiento	46
II.1.2.5.1 Biofertilizante: Características y Beneficios	47
II.1.2.5.2 Beneficios para el Suelo	47
II.1.2.5.3 Aplicación del Biofertilizante	48
II.1.2.6.1 Biodigestores en la Producción Animal: Una Solución Sostenible.....	50
II.1.2.6.2 Aplicaciones en Granjas.....	50
II.1.2.6.3 Casos de Éxito: Estudios de Caso de Implementación de Biodigestores en Sistemas de Producción Animal Similares	51
II.1.2.6.4 Beneficios Económicos y Ambientales	52
II.1.2.7.1 Marco Legal y Políticas Públicas para Biodigestores	52
II.1.2.7.2 Marco Legal Internacional	52
II.1.2.7.3 Marco Legal Nacional (Venezuela).....	52
II.1.2.7.4 Legislación Ambiental: Normas y Regulaciones	53
II.1.2.7.5 Incentivos y Programas de Apoyo.....	53
II.1.2.8.1 Planificación y diseño de un biodigestor.....	53
II.1.2.8.2 Factores humanos	53
II.1.2.8.3 Factores biológicos.....	54
II.1.2.8.4 Factores utilitarios	54
II.1.2.8.5 Proceso de construcción	55
II.1.2.8.5.1 Selección del lugar, trazado y excavación.....	55
II.1.2.8.5.2 Construcción del digestor	56
II.1.2.8.5.3 Construcción de los tanques de carga y descarga.....	56
II.1.2.8.5.4 Sellado e impermeabilizado del tanque	56
II.1.2.8.5.5 Construcción y colocación de la campana.....	56
II.1.2.8.5.6 Descripción del proceso Molienda.	57
II.1.2.8.5.7 Acondicionamiento.	57
II.1.2.8.5.8 Carga del digestor.....	57
II.1.2.8.5.9 Descarga.	57
II.1.2.8.6.1 Operación propuesta del sistema de digestión.....	58
II.1.2.8.6.2 Modo de operación.	59
II.1.2.8.6.3 Producción de gas y composición	59
II.1.2.8.7.1 Usos del biogás.....	60
II.1.2.8.7.2 Producción de abono orgánico	60
II.1.2.8.7.3 Sustancias orgánicas en los fertilizantes.....	61
II.1.2.8.7.4 Nutrientes y Organismos del Suelo	61
II.1.2.8.7.5 Reducción de la Erosión del Suelo.....	61
II.1.2.8.7.6 Reducción del deslave de Nitrógeno	62
II.1.2.8.7.7 Efectos sobre los cultivos.	62
II.1.3 Bases legales	62
II.1.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999).....	62
II.1.3.2 Legislación Ambiental	63
II.1.3.2 La Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2001)	63
II.1.4 Definición de términos básicos	63
II.1.4.1 Términos Clave y Definiciones	63
II.1.5 Formulación de Sistema de hipótesis	65

II.1.6 Formulación de Sistema de variables	66
CAPÍTULO III.....	68
III.1 MARCO METODOLÓGICO.....	68
III.1.1 Tipo de investigación	68
III.1.2 Descripción de la metodología.....	68
III.1.2.1 Investigación de Campo	69
III.1.2.2 Investigación Descriptiva.....	69
III.1.2.3 Proyecto Factible.....	70
III.1.3 Descripción de los procedimientos	70
III.1.3.1 Población y Muestra.....	71
III.1.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos	71
III.1.3.3 Procedimiento de Recolección de Datos.....	72
III.1.3.4 Validez y Confiabilidad	72
CAPÍTULO IV.....	74
IV.1. ASPECTO ADMINISTRATIVO	74
IV.1.2. Diagnóstico que sustenta la propuesta	74
IV.1.2. Análisis de los resultados del diagnóstico	75
CAPÍTULO V	89
V.1. La propuesta.....	89
V.1.1. Presentación	89
V.1.2. Justificación	90
V.1.3. Fundamentación	91
V.1.4. Estructura	92
V.1.5. Administración.....	106
V.1.6. Factibilidad.....	111
V.1.6.1 Factibilidad Técnica.....	111
V.1.6.2 Factibilidad Económica.....	111
V.1.6.3 Factibilidad Ambiental.....	114
V.1.6.4 Factibilidad Social.....	115
CAPÍTULO VI.....	116
VI.1. Conclusiones y recomendaciones	116
VI.1.1 Conclusiones.....	116
VI.1.2 Recomendaciones	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS	123

LISTA DE TABLAS

TABLAS

Tabla N° 1. Recursos estimados para ejecutar la investigación	12
Tabla N° 2. Tabla Comparativa de Diferentes Tecnologías de Biodigestores	27
Tabla N° 3. Comparación del poder calorífico del biogás con otros combustibles	43
Tabla N° 4. Tabla Comparativa de Materiales para Biodigestores	45
Tabla N° 5. Factores que Afectan la Eficiencia de un Biodigestor.....	46
Tabla N° 6. Comparación de los diferentes tipos de microorganismos	49
Tabla N° 7. Sistema de Variables	67
Tabla N° 8. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Conocimiento.....	76
Tabla N° 9. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Percepción	78
Tabla N° 10. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Funcionamiento	80
Tabla N° 11. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Eficiencia Energética	81
Tabla N° 12. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Reducción de Emisiones	82
Tabla N° 13. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Crecimiento Económico.....	84
Tabla N° 14. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Ambiente.....	85
Tabla N° 15. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Gestión de Residuos.....	87
Tabla N° 17. Valoración para selección del prototipo	100
Tabla N° 17. Presupuesto Ejecución Propuesta Biodigestor	106
Tabla N° 18. Costo-Beneficio Anual del Biodigestor.....	113
Tabla N° 19. Flujo de Caja del Proyecto	113
Tabla N° 20. Resultados del Análisis Económico	114
Tabla N° 21. Sistema de Variables	126

LISTA DE FIGURAS

Figura Nro. 1. Vista Satelital de la unidad de estudio.....	12
Figura Nro. 2. Esquema de cuatro fases de producción de biogás.....	26
Figura Nro. 3. BIODIGESTOR CSTR	33
Figura Nro. 4. Esquema de flujo pistón.	33
Figura Nro. 5. Biodigestor de Lecho Fijo	35
Figura Nro. 6. Biodigestor de membrana.....	35
Figura Nro. 7. Composición típica del biogás.....	41
Figura Nro. 8. Esquema de un proceso de purificación de biogás por absorción.	42
Figura Nro. 9. Operación del sistema de digestión.	58
Figura Nro. 10. Vista Satelital de la unidad de estudio.....	93
Figura Nro. 11. Corrales de encierro de la Finca Centenera	93
Figura Nro. 12. Corrales de encierro de la Finca Centenera	94
Figura Nro. 13. Aplicación del Cuestionario	94
Figura Nro. 14. Aplicación del Cuestionario	95
Figura Nro. 15. Aplicación del Cuestionario	95
Figura Nro. 16. Prototipo del biodigestor.	98
Figura Nro. 17. Tanque de polietileno con capacidad de 170 litros.....	99
Figura Nro. 18. Implementos para el sistema Biodigestor.....	100
Figura Nro. 19. Elaboración de los agujeros laterales.	101
Figura Nro. 20. Elaboración de los agujeros.....	102
Figura Nro. 21. Ensamblaje general.....	103
Figura Nro. 22. Tubería de carga del dispositivo.....	104
Figura Nro. 23. Biodigestor ensamblado.	104
Figura Nro. 24. Biomasa (estiércol de ganado).....	105
Figura Nro. 25. Mezcla dentro del biodigestor	105



UNELLEZ
VICERRECTORADO DE INFRAESTRUCTURA
Y PROCESOS INDUSTRIALES
PROGRAMA CIENCIAS DEL AGRO Y DEL MAR
SAN CARLOS – VENEZUELA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA EL DESARROLLO
SUSTENTABLE DE LA FINCA CENTENERA, MUNICIPIO RICAURTE
ESTADO COJEDES**

Br. Javier Agustín Ramires Montilla
Br. Javier José Ramires Gómez
Tutor: Ing. Diego Pineda

RESUMEN

La investigación titulada "Sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte, Estado Cojedes" se planteó como objetivo general diseñar un sistema biodigestor que contribuyera al desarrollo sustentable de la finca, abordando la problemática de la gestión de residuos orgánicos y la necesidad de fuentes de energía renovable. Metodológicamente, la investigación se enmarcó en un enfoque cuantitativo con un diseño de proyecto factible, un estudio de campo de nivel descriptivo no experimental. La población estuvo constituida por el personal que labora en la Finca Centenera, seleccionándose una muestra no probabilística intencional de 7 individuos que representan la totalidad del personal. Se aplicó un instrumento tipo cuestionario estructurado con 18 preguntas cerradas con escala dicotómica (Sí/No), distribuidas en las dimensiones de Impacto Ambiental (indicadores de Funcionamiento y Eficiencia Energética), Sustentabilidad (indicadores de Reducción de Emisiones, Crecimiento Económico y Ambiente) y Gestión de Residuos. Los resultados más resaltantes evidenciaron una alta receptividad por parte del personal hacia la tecnología de biodigestión, manifestando un pleno entendimiento sobre el funcionamiento del sistema, sus beneficios ambientales (reducción de emisiones, mejora de la higiene) y económicos (generación de ingresos adicionales, reducción de gastos en fertilizantes y gestión de residuos). Además, mostraron una disposición unánime a aprender sobre el manejo del biodigestor y una percepción positiva sobre la mejora de la imagen de la finca ante la comunidad. En conclusión, el diseño propuesto de un biodigestor artesanal, construido con materiales accesibles y de bajo costo, se presenta como una alternativa viable y pertinente para la Finca Centenera, contribuyendo a la gestión sustentable de residuos, la generación de energía renovable y el fortalecimiento de la economía local. Se recomienda, realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo propuesto, la capacitación integral del personal y la búsqueda de financiamiento para la implementación a escala real.

Palabras clave: Desarrollo Sustentable, Biodigestor, Sistema.

INTRODUCCIÓN

Los estudiantes de Ingeniería en Producción Animal de la UNELLEZ, con un profundo compromiso hacia el desarrollo sustentable de las comunidades rurales venezolanas, presentan una propuesta innovadora y oportuna: la propuesta de un sistema biodigestor en la Finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes. Este proyecto, concebido bajo la premisa de optimizar los recursos disponibles y minimizar el impacto ambiental, tiene como objetivo principal proponer un sistema biodigestor que impulse el desarrollo sustentable de esta unidad de producción.

En este sentido, es imperativo destacar que la agricultura, en particular la producción animal, genera una cantidad significativa de residuos orgánicos que, si no son gestionados adecuadamente, pueden convertirse en focos de contaminación y pérdida de nutrientes valiosos para los suelos. En este contexto, la tecnología de los biodigestores surge como una alternativa viable y eficiente para transformar estos residuos en biogás, un combustible limpio y renovable, y en biofertilizante, un producto orgánico de alta calidad que mejora la fertilidad de los suelos y la productividad agrícola.

Por consiguiente, la propuesta de un biodigestor en la Finca Centenera no solo representa una solución técnica a un problema ambiental, sino que también constituye una oportunidad para generar beneficios económicos a través de la producción de energía limpia y la reducción de costos asociados a la adquisición de fertilizantes químicos. Además, este proyecto se alinea con los lineamientos nacionales e internacionales en materia de desarrollo sustentable, promoviendo el uso de tecnologías limpias y la conservación de los recursos naturales.

En suma, la presente investigación buscó demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la instalación de un biodigestor en la Finca Centenera, contribuyendo así al fortalecimiento del sector productivo local y al logro de los Objetivos de Desarrollo Sustentable. A través de un análisis detallado de las características de la finca, la evaluación de diferentes tipos de biodigestores y la estimación de los beneficios esperados, se espera que este proyecto sirva como

modelo para la replicación en otras unidades de producción similares, impulsando así el desarrollo rural sustentable en el estado Cojedes y en todo el país. En correspondencia con los intereses de este estudio, la estructura de se enmarca en los siguientes capítulos:

Capítulo I: el problema de la investigación, el cual se enfoca en los aspectos preliminares del trabajo de investigación, el planteamiento del problema, la justificación, la formulación de objetivos, las limitaciones que comprende la investigación con la finalidad de conseguir un alcance del proyecto. El Capítulo II: denominado marco teórico, en el cual se hace referencia a los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que sustentan la investigación. Para llegar al Capítulo III: el marco metodológico, donde se explica el tipo y diseño de investigación, se desglosan los objetivos estableciendo fases que permiten desarrollar cada uno de ellos, las técnicas e instrumentos aplicados en la recolección y análisis de datos de la investigación. El capítulo IV es la parte administrativa que incluye los resultados del diagnóstico. El capítulo V es la propuesta con todos sus componentes y finalmente, el capítulo VI son las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

I.1. EL PROBLEMA

I.1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, la creciente demanda de energía y la preocupación por el cambio climático han impulsado la búsqueda de fuentes energéticas alternativas y sustentables. En este contexto, los sistemas biodigestores han emergido como una tecnología prometedora para la gestión de residuos orgánicos y la producción de biogás, un combustible renovable y versátil, (International Energy Agency (IEA), 2021, p. 4). Sin embargo, a pesar de su potencial, la implementación de estos sistemas a gran escala aún enfrenta diversos desafíos.

Uno de los principales obstáculos radica en la falta de políticas públicas claras y consistentes que incentiven la adopción de tecnologías de biogás. Si bien algunos países han implementado programas de apoyo financiero y técnico, aún persisten barreras regulatorias y burocráticas que dificultan la inversión en biodigestores (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018, p. 3). Además, la percepción pública sobre esta tecnología a menudo se ve limitada por la falta de información y la desconfianza en su viabilidad económica.

Otro desafío importante es la adaptación de los sistemas biodigestores a las condiciones locales. Los factores climáticos, la disponibilidad de biomasa y las características de los residuos orgánicos varían considerablemente entre regiones, lo que exige el desarrollo de soluciones tecnológicas específicas y personalizadas. Asimismo, la integración de los biodigestores en los sistemas productivos existentes puede requerir cambios significativos en las prácticas agrícolas y ganaderas, lo que implica un proceso de aprendizaje y adaptación por parte de los productores (Román E, Pérez M, & García J., 2016).

A pesar de estos desafíos, los sistemas biodigestores ofrecen una serie de beneficios ambientales y socioeconómicos. Además de la producción de biogás, estos

sistemas contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la calidad del aire y del agua, y la generación de fertilizantes orgánicos que aumentan la productividad agrícola. Asimismo, la implementación de biodigestores puede crear oportunidades de empleo y fortalecer las economías locales, especialmente en las zonas rurales (IEA, 2021).

A partir de lo expuesto, se evidencia una brecha significativa entre el potencial de los sistemas biodigestores para contribuir al desarrollo sustentable y su implementación a gran escala. A nivel mundial, persiste una necesidad urgente de desarrollar políticas públicas más sólidas, promover la investigación y el desarrollo tecnológico, y fomentar la transferencia de conocimientos para superar las barreras que limitan la adopción de esta tecnología.

En el contexto venezolano, marcado por la crisis económica y la inestabilidad política, la búsqueda de soluciones sustentables para la producción de alimentos y energía se ha vuelto cada vez más relevante. Los sistemas biodigestores, al ofrecer una alternativa viable para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y la generación de energía limpia, se presentan como una tecnología con un gran potencial para contribuir al desarrollo rural y a la mitigación del cambio climático.

Sin embargo, la implementación y uso de biodigestores en Venezuela se enfrenta a una serie de desafíos. Uno de los principales obstáculos es la falta de acceso a financiamiento y crédito para la adquisición e instalación de estos sistemas. Las altas tasas de interés y la escasez de divisas dificultan la inversión en tecnologías limpias, limitando así su adopción por parte de los productores (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras, 2021).

Otro desafío importante es la falta de políticas públicas claras y coherentes que promuevan el desarrollo de la bioenergía. Si bien el Gobierno venezolano ha expresado su interés en fomentar el uso de energías renovables, aún no se han implementado programas específicos y ambiciosos para impulsar la adopción de biodigestores a gran escala. Además, la inestabilidad institucional y los cambios

frecuentes en las políticas energéticas generan incertidumbre y desincentivan la inversión en este sector (Oropeza J, González M, & Pérez J., 2018).

A pesar de estos desafíos, existen iniciativas interesantes en Venezuela que buscan promover el uso de biodigestores. Diversas organizaciones no gubernamentales y universidades han llevado a cabo proyectos piloto para evaluar la viabilidad técnica y económica de estos sistemas en diferentes regiones del país. Asimismo, algunos productores han adoptado de manera independiente la tecnología de los biodigestores, demostrando su potencial para mejorar la eficiencia productiva y reducir los costos de operación (Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 2020, p. 12).

No obstante, la implementación de biodigestores en Venezuela aún se encuentra en una etapa incipiente, con un número limitado de instalaciones a nivel nacional. Esto se debe en parte a la falta de conocimiento sobre los beneficios de esta tecnología, así como a la percepción de que su implementación es compleja y costosa. Además, la escasez de técnicos calificados para la instalación y mantenimiento de biodigestores limita su expansión (Oropeza, et. al., 2018).

El bajo nivel de adopción de sistemas biodigestores en Venezuela representa una oportunidad perdida para aprovechar el potencial de esta tecnología en la búsqueda de un desarrollo más sustentable. La falta de acceso a financiamiento, la ausencia de políticas públicas claras y la escasez de conocimientos técnicos son algunos de los principales factores que limitan la expansión de los biodigestores en el país. En este contexto, el presente proyecto de investigación, al abordar la propuesta de un biodigestor en la Finca Centenera, busca contribuir a llenar este vacío y demostrar la viabilidad técnica, económica y ambiental de esta tecnología en condiciones locales, generando así conocimientos y experiencias que puedan ser replicados en otras regiones de Venezuela.

La Finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes, al igual que muchas otras unidades de producción animal en Venezuela, enfrenta una serie de desafíos que obstaculizan su desarrollo sustentable. La carencia de un sistema

biodigestor agrava significativamente estas problemáticas, generando impactos negativos tanto a nivel productivo como ambiental.

Una de las principales dificultades que enfrenta la Finca Centenera es la gestión inadecuada de los residuos orgánicos provenientes de la actividad pecuaria. La acumulación de estiércol y otros desechos en grandes cantidades representa un riesgo para la salud pública y el medio ambiente, ya que pueden contaminar las fuentes de agua, generar malos olores y atraer plagas (González, A., Pérez, M., & Rodríguez, L., 2019). Además, estos residuos orgánicos contienen nutrientes valiosos que se pierden al no ser aprovechados de manera eficiente.

La falta de un biodigestor también limita la capacidad de la Finca Centenera para producir su propia energía. El biogás generado a partir de los residuos orgánicos puede utilizarse para generar electricidad, cocinar y calentar agua, lo que reduciría la dependencia de fuentes de energía convencionales y los costos de producción. Asimismo, el biofertilizante obtenido del proceso de digestión anaeróbica podría mejorar la fertilidad de los suelos y aumentar la productividad de los cultivos (Román et al., 2016).

Otro problema importante es la escasez de agua en la región de Cojedes, lo que además afecta en el lugar de estudio. La sequía y la variabilidad climática han afectado significativamente la disponibilidad de agua para el riego y otras actividades agrícolas. La propuesta de un biodigestor permitiría reducir el consumo de agua en la finca, ya que el proceso de digestión anaeróbica requiere una menor cantidad de agua en comparación con otros sistemas de tratamiento de residuos.

La dependencia de fertilizantes químicos también representa un desafío para la Finca Centenera. Estos productos, además de ser costosos, pueden contaminar los suelos y las aguas subterráneas. El uso de biofertilizante producido en un biodigestor permitiría reducir la dependencia de insumos externos y mejorar la calidad de los suelos a largo plazo.

La falta de biodigestores también limita las oportunidades de diversificación productiva de la Finca Centenera. El biogás puede utilizarse para la producción de biometano, un biocombustible que puede ser inyectado en la red de gas natural o utilizado como combustible vehicular. Además, los subproductos del proceso de digestión anaeróbica pueden ser utilizados para la producción de otros productos de valor agregado, como bioplásticos o alimentos para animales.

Por lo antes descrito, la carencia de un sistema biodigestor en la Finca Centenera genera una serie de problemáticas que afectan su desarrollo sustentable. La gestión inadecuada de los residuos orgánicos, la dependencia de fuentes de energía convencionales, la escasez de agua, la dependencia de fertilizantes químicos y las limitadas oportunidades de diversificación productiva son algunos de los principales desafíos que enfrenta esta unidad de producción.

En este contexto, el presente proyecto de investigación tuvo como objetivo principal proponer un sistema biodigestor que permita a la Finca Centenera superar estas dificultades y alcanzar un desarrollo más sustentable. A través de la propuesta de un biodigestor, se busca mejorar la gestión de los residuos orgánicos, reducir los costos de producción, aumentar la eficiencia en el uso del agua, mejorar la calidad de los suelos y diversificar las fuentes de ingresos de la finca. Lo que da pie a las siguientes preguntas de investigación: ¿Cómo es la generación de residuos orgánicos de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes? ¿Cuáles será el tipo de biodigestor requerido según los residuos generados por medio de un análisis de alternativas? ¿Qué parámetros permitirán el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes? ¿Cuáles costos serán necesarios considerar para el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes?

I.1.2 Justificación de la investigación

La propuesta de un sistema biodigestor en la Finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes, se sustenta en una serie de argumentos sólidos que justifican la importancia de esta investigación desde diversas perspectivas. Desde una perspectiva agrícola, la propuesta de un biodigestor representa una oportunidad para mejorar la eficiencia productiva de la finca. Al transformar los residuos orgánicos en biofertilizante, se enriquece el suelo con nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos, lo que puede incrementar los rendimientos y la calidad de los productos agrícolas (Román et al., 2016). Además, el biogás generado puede utilizarse para impulsar maquinaria agrícola, reduciendo los costos de producción y aumentando la autonomía energética de la finca.

Por otra parte, la propuesta de un biodigestor contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de metano, un potente gas de efecto invernadero. Asimismo, al disminuir la dependencia de fertilizantes químicos y agroquímicos, se protege la calidad del suelo y del agua, evitando la contaminación de los ecosistemas acuáticos (FAO, 2018). Además, la propuesta de un biodigestor puede generar beneficios sociales significativos, como la creación de empleos en las etapas de construcción, operación y mantenimiento del sistema. Además, al mejorar la calidad de vida de los productores y sus familias, se contribuye al desarrollo rural sustentable y a la fijación de la población en el campo.

Esta investigación contribuye al avance del conocimiento científico en el campo de la bioenergía y la gestión de residuos orgánicos. Los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones y para el diseño de políticas públicas que promuevan el uso de biodigestores en Venezuela. Asimismo, permite poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la formación de los ingenieros en producción animal. Además, esta investigación contribuye a validar modelos teóricos sobre la eficiencia de los sistemas biodigestores en diferentes condiciones climáticas y productivas. A su vez, la presente investigación utiliza una

metodología rigurosa que combina técnicas de análisis de laboratorio, modelación matemática y evaluación económica. Esta metodología permitirá obtener resultados confiables y generalizables, contribuyendo al desarrollo de herramientas para la toma de decisiones en la implementación de biodigestores en otras fincas.

Desde lo económico, puede generar importantes beneficios monetarios a largo plazo. Al reducir los costos de producción, aumentar los ingresos por la venta de biogás y biofertilizante, y mejorar la eficiencia energética, la propuesta de un biodigestor puede generar un retorno de la inversión en un plazo relativamente corto. Aunado a esto, puede servir como insumo para la formulación de políticas públicas que promuevan el desarrollo de la bioenergía en Venezuela. Los resultados obtenidos pueden ayudar a diseñar programas de financiamiento, capacitación y asistencia técnica para la implementación de biodigestores en todo el país. Con respecto a lo tecnológico, la propuesta de un biodigestor en la Finca Centenera representa una oportunidad para evaluar el desempeño de diferentes tecnologías de biodigestión en condiciones locales. Los resultados obtenidos pueden contribuir al desarrollo de tecnologías más eficientes y adaptadas a las necesidades de los productores venezolanos.

En consecuencia, la propuesta de un sistema biodigestor en la Finca Centenera es una iniciativa que presenta múltiples beneficios a nivel agrícola, ambiental, social, académico, teórico, metodológico, económico, político y tecnológico. Los resultados de esta investigación pueden contribuir a la construcción de un futuro más sustentable para la finca, para el municipio Ricaurte y para el país en general. Vale resaltar que, este estudio se encuentra inmerso dentro de las Líneas de Creación Intelectual designadas como prioritarias por el Consejo Directivo para el período 2020-2025 de la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora” del Programa de Ciencias Básicas y Aplicadas, denominada: Agricultura Sustentable.

I.1.3 Formulación de objetivos

I.1.3.1 Objetivo general

Proponer un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.

I.1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Diagnosticar las condiciones de producción de residuos orgánicos de la finca Centenera, municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Establecer los parámetros para el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Estimar costos necesarios para el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Diseñar un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.

I.1.4 Alcances y Limitaciones

I.1.4.1 Alcances

Este proyecto de grado, enmarcado en el área de la Ingeniería en Producción Animal, tiene como objetivo principal proponer un sistema de biodigestión en la finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes. La zona de estudio se encuentra delimitada por las coordenadas geográficas 9°, 22', 38" N; 68°, 40', 11" E; 9,376564; -68,669607, lo cual permitirá una caracterización precisa del área y sus recursos.

A través de este proyecto se busca evaluar la viabilidad técnica y económica de la instalación de un biodigestor en la finca, considerando los recursos disponibles y las características de los residuos orgánicos generados por la actividad pecuaria. Se realizará un análisis detallado de los diferentes tipos de biodigestores existentes, seleccionando el modelo más adecuado para las condiciones particulares de la finca Centenera. Asimismo, se estimará la producción de biogás y biofertilizante, así como los beneficios ambientales y económicos que se obtendrán con la propuesta de este sistema y su posterior implementación.

Finalmente, este proyecto contribuirá al desarrollo sustentable de la finca Centenera al promover el aprovechamiento eficiente de los residuos orgánicos, reducir la emisión de gases de efecto invernadero y generar energía limpia a partir de fuentes renovables. Los resultados obtenidos servirán como base para la réplica de este tipo de iniciativas en otras fincas de la región, fomentando así la adopción de tecnologías limpias y sustentables en el sector agropecuario.

I.1.4.2 Limitaciones

Este proyecto, a pesar de sus potenciales beneficios, se enfrenta a una serie de limitaciones inherentes a su naturaleza y al contexto en el que se desarrolla. En primer lugar, las condiciones climáticas de la región de Cojedes, caracterizadas por altas temperaturas y períodos de sequía, pueden influir en la eficiencia del proceso de biodigestión. Las variaciones estacionales en la temperatura y la disponibilidad de agua pueden afectar la tasa de producción de biogás y la calidad del biofertilizante. Asimismo, la disponibilidad de recursos económicos puede constituir una limitante significativa. La inversión inicial para la adquisición de los materiales, la construcción del biodigestor y la puesta en marcha del sistema puede resultar elevada para pequeños productores. Además, se deben considerar los costos de operación y mantenimiento a largo plazo.

Por otra parte, la falta de conocimiento técnico por parte de los productores puede dificultar la operación y el mantenimiento adecuados del biodigestor. Es fundamental

brindar capacitación y asistencia técnica continua para garantizar el buen funcionamiento del sistema y maximizar sus beneficios. Finalmente, las características de los residuos orgánicos generados en la finca pueden afectar la eficiencia del proceso de biodigestión. La variabilidad en la composición y la humedad de los residuos puede requerir ajustes en el diseño y la operación del biodigestor.

I.1.5 Ubicación Geográfica

El estado Cojedes está ubicado al centro-norte del país, y limita por el Norte con los estados Yaracuy y Carabobo, por el Sur con el estado Barinas, al Este con el estado Guárico y por el Oeste con los estados portuguesa y Lara. Asimismo, la unidad de estudio es la finca Centenera del municipio Ricaurte del Estado Cojedes, posee una extensión de 100 hectáreas, coordenadas: P1 (N: 103600, E: 536500) y P2 (N: 1036500, E: 537000)

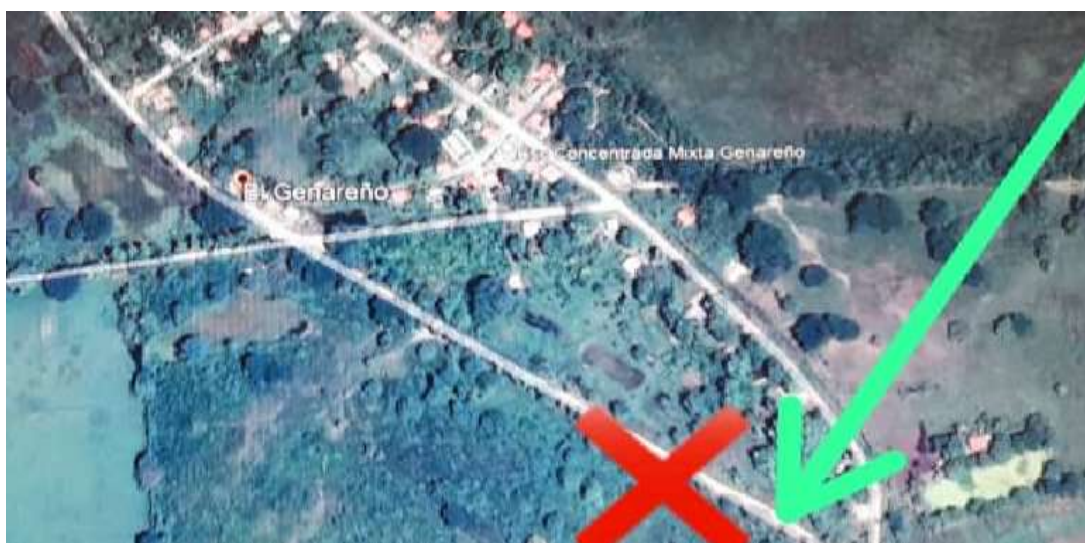


Figura Nro. 1. Vista Satelital de la unidad de estudio

Fuente: Google Maps

I.1.6 Costo del proyecto

Tabla N° 1. Recursos estimados para ejecutar la investigación

Descripción	Costo Unitario	Cantidad	Total Bs.
-------------	----------------	----------	-----------

Viáticos	20,00	16	1.280,00
Logística	200,00	6	1.200,00
Total Bs.			2.480,00

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

CAPÍTULO II

II.1 MARCO TEÓRICO

II.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Soto y Reyes (2024), realizaron un trabajo de grado titulado: “Diseño y simulación de un biodigestor mediante PLC y Pantalla HMI”, Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Electrónico, Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil – Ecuador. Este proyecto se centra en el diseño y simulación del proceso de un biodigestor mediante la combinación de un Controlador Lógico Programable (PLC) y una Interfaz de Usuario Human-Máquina (HMI). El objetivo principal es alcanzar una automatización y supervisión eficaces de las variables durante el proceso de fermentación anaeróbica, garantizando la precisión, calidad y eficiencia operativa, al mismo tiempo que se evitan acciones innecesarias en la maquinaria.

Este trabajo proporciona a los estudiantes una herramienta de aprendizaje práctico. Se implementa en un PLC para controlar las operaciones, una HMI que facilita la interacción con los operadores, un módulo sensor de temperatura que permite ajustar el valor manualmente, un módulo sensor de pH para mantener el valor dentro de un

rango óptimo y una Plataforma IoT para la recopilación y análisis de datos en tiempo real.

El marco metodológico detalla los elementos y características que se consideran para la creación del proyecto, como la instrumentación electrónica, la programación en TIA Portal, el diseño de la pantalla HMI y su aplicación en un Raspberry Pi 4. El uso constante de este sistema de control y monitoreo en tiempo real garantiza la optimización del rendimiento y la prolongación de la vida útil de los equipos, lo que reduce el desgaste. La capacidad de observar de inmediato el proceso en cada fase permite una respuesta temprana a los posibles problemas, lo que aumenta la eficiencia y reduce los tiempos de inactividad.

La adquisición y el análisis de datos en tiempo real se facilitan con la integración de la Plataforma IoT, que aloja el sistema de fermentación anaeróbica en la nube. El monitoreo y el control del proceso desde lugares lejanos, así como la pronta detección de errores o desviaciones, son posibles gracias a esta convergencia con la nube. Además, al optimizar la eficiencia global del proceso, brinda una base para llevar a cabo mejoras continuas basadas en el análisis de los datos recopilados.

Los estudiantes de ingeniería en producción animal de la UNELLEZ, municipio Ricaurte, reconocen la relevancia del trabajo de Soto y Reyes (2024) para su proyecto de biodigestor en la Finca Centenera. Aunque enfocado en ingeniería electrónica, el estudio ofrece un modelo valioso para la automatización y monitoreo de biodigestores. La implementación de PLC y HMI, junto con sensores de temperatura y pH, permite un control preciso del proceso de fermentación, optimizando la producción de biogás y reduciendo el desgaste de los equipos. La plataforma IoT facilita el análisis de datos en tiempo real y el control remoto, aspectos cruciales para la gestión eficiente de un biodigestor en una finca pecuaria. Los estudiantes pueden adaptar estas tecnologías para supervisar la producción de biogás, la calidad del digestato y otros parámetros relevantes para la producción animal sustentable.

Velásquez y González (2022), en su investigación titulada: “Diseño y construcción de un sistema de biodigestores tipo Batch a escala laboratorio, para el trabajo

experimental del proyecto “Aditivo nanoestructurado para reducir el contenido de H₂S en biogás producido por digestión anaerobia” y la Línea de profundización en energías limpias del programa de Ingeniería Ambiental”, presentada en la facultad de ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, Villavicencio. Esta investigación plantea que, El alto grado de consumismo que se presenta a nivel mundial y que se ve representado principalmente en la generación de residuos y en el consumo de energía, conlleva al aumento de la contaminación de los recursos naturales y el medio que los posee.

Siendo los residuos orgánicos aquellos que aportan el 61% de los gases de efecto invernadero, los biodigestores se han planteado como una alternativa eficiente a la hora de darles un manejo adecuado a los residuos, teniendo en cuenta que a partir de la digestión de una mezcla de desechos orgánicos y agua de forma anaerobia por parte de algunas bacterias metanogénicas que producen metano, el cual se aprovecha como biogás para hacer combustión y generar electricidad.

El diseño y construcción de un biodigestor tipo Batch a escala laboratorio, para el cual se estudiaron factores como el tipo de biodigestor, materiales para su construcción, componentes electrónicos para el censado, temperatura, pH, y un sistema de aspas para la agitación de la biomasa; comprende un sistema de 3 biodigestores sellados herméticamente con agitación constante de 5 a 6 rpm y temperatura de 38°C a 40°C regulada por un termostato, que a partir de pruebas de ensayo y error realizadas en el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomas se evidencia su funcionamiento adecuado para producir entre 20 mL a 105 mL de gas con estiércol bovino y aves.

Velásquez y González (2022) demostraron la viabilidad de los biodigestores tipo Batch a escala laboratorio para la producción de biogás a partir de estiércol, un hallazgo directamente aplicable a la Finca Centenera. Su investigación detalló el diseño y construcción de un sistema con control de temperatura y agitación, elementos cruciales para optimizar la digestión anaeróbica y la producción de metano. Para los estudiantes de ingeniería en producción animal de la UNELLEZ,

este estudio proporciona una base sólida para comprender los parámetros técnicos necesarios en la implementación de biodigestores a mayor escala. La experiencia de los autores en el manejo de residuos orgánicos y la medición de la producción de biogás, especialmente con estiércol bovino y aviar, es de gran relevancia para el desarrollo de un sistema biodigestor sustentable en la finca, que permita aprovechar los residuos pecuarios y reducir el impacto ambiental, alineándose con los objetivos de la carrera y las necesidades de la región.

Guerra, y Páez (2022), en su trabajo titulado: “Diseño y construcción de un biodigestor doméstico para producir biogás”, Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería, Quito – Ecuador. El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un biodigestor doméstico para la generación de biogás a través de residuos orgánicos. El proceso inicio con la ubicación del proyecto en la tola, barrio de la ciudad de Quito, seguido de la caracterización de la biomasa, donde se verifico que la biomasa del caso de estudio tiene las características suficientes para el correcto funcionamiento del biodigestor, luego se procedió a diseñar el mismo en función de la demanda energética y de la disponibilidad de biomasa.

Una vez construido, se procedió a evaluar el desempeño del biodigestor mediante un protocolo de pruebas donde se vio la hermeticidad, pH y temperatura, teniendo valores de pH de 7 y rangos de temperatura promedio de 19 a 40 °C, se verifico que el biodigestor estaba dentro de los rangos establecidos para la formación de bacterias metanogénica y la generación de biogás. Pasados los 52 días de retención se continuo con el protocolo de pruebas y se evaluó la calidad del biol producido, obteniéndose que la biomasa del caso de estudio tenía una relación C/N de 13,86, y el biol una concentración de 2% de nitrógeno, 1% de fosforo y 3% de potasio, demostrando así que el biol del caso de estudio tiene mejores características que otro tipo de Bioles orgánicos.

Para evaluar la calidad del biogás se realizó un análisis cromatográfico en el laboratorio de análisis instrumental del departamento de ingeniería Química de la

EPN, donde se reportó que el biogás producido tiene una concentración de metano de 21,11% y un poder calorífico de 7152,35 KJ/m³. Debido a las características anteriormente mencionadas el uso del biogás estuvo direccionado a la cocción de alimentos de baja demanda energética como desayunos, recalentados y algunos fritos, llegándose a obtener un tiempo de cocción máximo de 20 minutos. En cuanto a la producción, luego de los 52 días del tiempo de retención se tiene una producción de biol diaria de 2 litros, y una producción de biogás 31,25 litros, donde esta última fue determinada de manera indirecta y verificada experimentalmente, finalmente de acuerdo con el protocolo de pruebas se concluyó que el biodigestor domestico funciona adecuadamente.

Guerra y Páez (2022) diseñaron y construyeron un biodigestor doméstico en Quito, Ecuador, demostrando la viabilidad de generar biogás y biol a partir de residuos orgánicos. Los estudiantes de ingeniería en producción animal de la UNELLEZ, municipio Ricaurte, Cojedes, Venezuela, consideran este estudio relevante para su investigación sobre un sistema biodigestor en la Finca Centenera. La evaluación del desempeño del biodigestor, con mediciones de pH, temperatura y calidad del biogás y biol, proporciona datos valiosos para comprender el funcionamiento de estos sistemas. La caracterización de la biomasa y el análisis de la relación C/N son fundamentales para optimizar la producción de biogás y biol en la finca. Además, la aplicación del biogás en la cocción de alimentos de baja demanda energética ofrece una perspectiva práctica para el aprovechamiento de este recurso en el contexto de la producción animal. Los resultados de Guerra y Páez (2022) respaldan la propuesta de implementar un sistema biodigestor en la Finca Centenera, contribuyendo al desarrollo sustentable de la región.

Sotaquira (2021), presentó una investigación titulada: “Diseño de un Biodigestor para el Aprovechamiento de la Materia Orgánica Generada en la Plaza de Mercado del Municipio de Sogamoso – Boyacá” para el grado de Ingeniero Ambiental de la Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA, Sogamoso. Indica que Por

medio de la investigación se busca el adecuado diseño del biodigestor que cumpla con los parámetros requeridos para los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado del Municipio de Sogamoso – Boyacá, basados en el documento Actualización Del Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos - PGIRS - Del Municipio De Sogamoso - Boyacá (20 de diciembre del 2015).

Para la elaboración del diseño del biodigestor se llevó a cabo la ejecución del diagnóstico de la materia orgánica generada en la plaza de mercado, en primera instancia se procede a su recolección y transporte, dónde son llevados a su disposición final, los carros de la empresa encargados son llevados a la báscula para el pesaje de los residuos orgánicos e ingresan al Relleno Sanitario Regional Terrazas del Porvenir.

A partir de las visitas efectuadas a la plaza de mercado y al relleno sanitario, el análisis estadístico se adquirieron datos de los promedios generados en la semana, mes y año de residuos orgánicos de los últimos años, que permite identificar cual es el modelo apropiado del biodigestor que cumple con las características y condiciones ambientales del municipio de Sogamoso.

A través de la metodología seleccionada se encamina la investigación para el desarrollo del proyecto, esto permite analizar e identificar información a nivel internacional, nacional, regional y local. Una vez indagado el tema, se busca cuáles son los parámetros que cumple para el diseño del biodigestor. Al implementar esta alternativa se busca lograr o alcanzar que adquiriera una gran viabilidad y valorización de estos residuos para la obtención de biogás y los subproductos como lo es Biofertilizante en forma líquida y sólida.

Los estudiantes de ingeniería en producción animal de la UNELLEZ, al analizar el trabajo de Sotaquira (2021), reconocen la relevancia de adaptar los principios del diseño de biodigestores a contextos pecuarios. La investigación de Sotaquira, centrada en residuos orgánicos de mercados, proporciona un marco metodológico valioso para el diagnóstico y caracterización de la materia orgánica, un paso crucial para el diseño de un biodigestor en la Finca Centenera. La metodología empleada por

Sotaquira, que incluye la recolección, pesaje y análisis estadístico de residuos, puede ser adaptada para evaluar la producción de estiércol y otros desechos orgánicos en la finca. Además, la identificación de parámetros para el diseño de biodigestores, como la cantidad y tipo de materia orgánica, es directamente aplicable al contexto pecuario. La aspiración de Sotaquira de obtener biogás y biofertilizantes resuena con el objetivo de desarrollo sustentable de la Finca Centenera, donde estos productos pueden mejorar la producción y reducir el impacto ambiental.

Arenas (2019), presentó un trabajo para el grado de Ingeniero Ambiental y Sanitario titulado: “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”, Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería ambiental y sanitaria. Destaca que, el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos procedentes de las actividades de cocción en zonas residenciales, se presenta como una excelente alternativa para la obtención de productos que benefician a la comunidad, ello implica un valor agregado a los mismos que los incluye de nuevo en el ciclo productivo, lo que fomenta una economía circular dentro de la zona en donde se lleva a cabo dicha actividad. Así mismo, el aprovechamiento de los residuos brinda un apoyo frente a la conservación del medio ambiente en el que habitamos, acción que disminuye el área ocupada por los rellenos sanitarios, evita la contaminación de los acuíferos, reduce la deforestación, genera energía limpia y produce abono orgánico a partir de los mismos.

La presente propuesta de investigación busca ser un complemento del proyecto de viviendas sostenibles en el área ambiental, este será presentado en el concurso internacional del “Solar Decathlon”, evento en el que participa La Universidad de La Salle. El concurso fomenta el desarrollo de las energías limpias con base en la auto sostenibilidad de las futuras viviendas que serán adecuadas en la zona urbana del municipio de Buenaventura – Colombia. La propuesta ambiental se enfoca en el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de alta generación en el

municipio, específicamente de los estratos 1 y 2, que constituyen la población con las características socioeconómicas importantes para esta investigación.

El diseño de la unidad de aprovechamiento se realiza a partir del análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos monitoreados durante la ejecución de las 3 pruebas experimentales que fueron realizadas por triplicado. En consecuencia, la mejor prueba se compone de: 50% cáscara de plátano, 25% cáscara de yuca y 25% cáscara de papa, para un volumen total de residuos aprovechados de 75 litros en un tiempo de 7 días, también se considera una relación de agua - residuos de 4:1 para un volumen de mezcla total de 375 litros dentro de la unidad y una eficiencia de 34,2%. Estas pruebas experimentales fueron realizadas en los laboratorios de la Universidad de La Salle en la ciudad de Bogotá.

Los estudiantes de Ingeniería en Producción Animal de la UNELLEZ, al analizar el trabajo de Arenas (2019), reconocen la relevancia de los biodigestores en la gestión de residuos orgánicos, un aspecto crucial para la sustentabilidad de la Finca Centenera. Si bien Arenas se enfoca en residuos domésticos y un diseño para viviendas, su investigación proporciona un marco metodológico valioso. La experimentación con diferentes combinaciones de residuos y la determinación de parámetros fisicoquímicos son aplicables al estiércol de la finca. La optimización de la mezcla y la relación agua-residuos, como lo hizo Arenas, será esencial para el diseño del biodigestor en la Finca Centenera. Además, el concepto de economía circular y aprovechamiento de subproductos, como el biogás y el bioabono, resuena con los objetivos de desarrollo sustentable de la UNELLEZ. La investigación de Arenas demuestra la viabilidad de transformar residuos en recursos, un principio fundamental para la producción animal sustentable.

II.1.2 BASES TEÓRICAS

II.1.2.1 Introducción a la Producción Animal Sostenible

La producción animal, una actividad fundamental para la seguridad alimentaria global, ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Sin

embargo, este desarrollo ha traído consigo una serie de desafíos ambientales, como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del agua y la degradación del suelo (FAO, 2006). Ante este escenario, la búsqueda de sistemas de producción animal más sostenibles se ha convertido en una prioridad a nivel mundial.

La sostenibilidad en la producción animal implica la capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas. Esto implica un equilibrio entre los aspectos económicos, sociales y ambientales de la producción. Según Pimentel y Tilman (1994), la producción animal sostenible debe basarse en la optimización del uso de los recursos naturales, la reducción de los impactos ambientales y la mejora de la calidad de vida de los productores y consumidores.

Tradicionalmente, los sistemas de producción animal se han caracterizado por un alto consumo de recursos naturales, como agua y tierra, y por la generación de grandes cantidades de residuos. Estos residuos, si no son gestionados adecuadamente, pueden contaminar el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, además de emitir gases de efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso (Steinfeld et al., 2006). La ganadería, en particular, ha sido señalada como una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) estima que la producción de carne bovina y ovina contribuye significativamente al calentamiento global.

II.1.2.2 Biodigestión Anaeróbica: Un Proceso Clave

La biodigestión anaeróbica es un proceso biológico en el cual microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y un efluente líquido rico en nutrientes conocido como biofertilizante. Este proceso ha cobrado relevancia en las últimas décadas debido a su potencial para mitigar los problemas ambientales asociados a la gestión de residuos orgánicos y para generar energía renovable.

II.1.2.2.1 Principios básicos

El proceso de biodigestión se lleva a cabo en varias etapas, cada una de ellas mediada por grupos específicos de microorganismos. Inicialmente, las bacterias hidrolíticas descomponen las moléculas orgánicas complejas en compuestos más simples como azúcares, ácidos grasos y aminoácidos. Posteriormente, las bacterias acidogénicas fermentan estos compuestos, produciendo ácidos orgánicos, alcohol y dióxido de carbono. Finalmente, las bacterias metanogénicas convierten los productos de la fermentación en metano, dióxido de carbono y biomasa celular (Metcalf & Eddy, 2004). La eficiencia de la biodigestión depende de diversos factores, entre los que destacan la temperatura, el pH, la relación carbono-nitrógeno, el tiempo de retención hidráulico y la concentración de inhibidores (Angelidaki et al., 2009).

II.1.2.2.1.1 Biomasa

Según RENOVETEC (2009), define: la biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene de la energía que almacenan los seres vivos. En primer lugar los vegetales, al realizar la fotosíntesis, utilizan la energía del sol para formar sustancias orgánicas. Después los animales incorporan y transforman esa energía al alimentarse de las plantas. Los productos de dicha transformación que se consideran residuos, pueden ser utilizados como recurso energético.

II.1.2.2.1.2 Tipos de biomasa

Existen diferentes tipos de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético.

Aunque se pueden hacer multitud de clasificaciones:

a) Biomasa Natural

Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente.

b) Biomasa residual (seca y húmeda)

Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura (leñosos y herbáceos), y ganadería en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otras y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el aserrín, la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, etc.

Se denomina biomasa residual húmeda a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

II.1.2.2.1.3 Procesos de conversión de la biomasa en energía

Existen diferentes métodos que transforman la biomasa en energía aprovechable, expondremos los dos métodos más utilizados en este momento, los termoquímicos y los biológicos.

a) Métodos termoquímicos: Estos métodos se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa. Están muy desarrollados para la biomasa seca, sobre todo para la paja y la madera.

Se utilizan los procesos de:

I.- Combustión

Es la oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, en esta reacción se libera agua y gas carbónico, y puede ser utilizado para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.

II.- Pirólisis

Se trata de una combustión incompleta a alta temperatura (500°C) de la biomasa en condiciones anaerobias. Se utiliza desde hace mucho tiempo para producir carbón vegetal. Este método libera también un gas pobre, mezcla de monóxido (CO) y dióxido de carbono (CO₂), de hidrógeno (H₂) y de hidrocarburos ligeros. Este gas, de poco poder calórico, puede servir para accionar motores diesel, para producir

electricidad, o para mover vehículos. Una variante de la pirólisis, es la pirólisis flash. Esta se realiza a una temperatura mayor, alrededor de 1,000° C, y tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa. Se optimiza de esta forma el "gas pobre". Las instalaciones en la que se realizan la pirólisis y la gasificación de la biomasa se llaman gasógenos. El gas pobre producido puede utilizarse directamente o puede servir como base para la síntesis de metanol, el cual podría sustituir a las gasolinas para la alimentación de los motores de explosión (carburol).

La gasificación tiene ventajas con respecto a la biomasa original:

1. El gas producido es más versátil y se puede usar para los mismos propósitos que el gas natural;
2. Puede quemarse para producir calor y vapor y puede alimentar motores de combustión interna y turbinas de gas para generar electricidad;
3. Produce un combustible relativamente libre de impurezas y causa menores problemas de contaminación al quemarse.

b) Métodos biológicos I.- Fermentación alcohólica: Se trata de una fermentación alcohólica que transforma la biomasa en etanol (biocombustible). Este alcohol se produce por la fermentación de azúcares.

II.- Fermentación metánica: Otro método biológico es la fermentación metánica, que es la digestión anaerobia de la biomasa por bacterias. Se suele utilizar para la transformación de la biomasa húmeda. En los fermentadores, o digestores. La celulosa es la sustancia que se degrada en un gas, el cual contiene alrededor de 60% de metano y 40% de gas carbónico. Para este proceso se requiere una temperatura entre 30-35 ° C. Estos digestores por su gran autonomía presentan una opción favorable para las explotaciones de ganadería intensiva.

II.1.2.2.2 Productos de la biodigestión

Biogás: Es una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Su poder calorífico depende de la proporción de metano y

puede ser utilizado para generar electricidad, calor o como combustible para vehículos (Owen et al., 1979).

Biofertilizante: Es un efluente líquido rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como en una gran cantidad de microorganismos benéficos para el suelo. Puede ser utilizado como fertilizante orgánico, mejorando la estructura del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Mata-Alvarez et al., 2000).

II.1.2.2.3 Ventajas de la biodigestión

La biodigestión anaeróbica ofrece múltiples beneficios, tanto ambientales como económicos:

Reducción de residuos: Permite el tratamiento y valorización de residuos orgánicos, disminuyendo la presión sobre los vertederos y reduciendo las emisiones de metano a la atmósfera.

Generación de energía renovable: El biogás producido puede ser utilizado como fuente de energía limpia y sostenible, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética.

Mejora de la calidad del suelo: El biofertilizante enriquece el suelo con nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando su fertilidad y productividad.

Reducción de olores y emisiones: La biodigestión elimina los malos olores asociados a los residuos orgánicos y reduce las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.

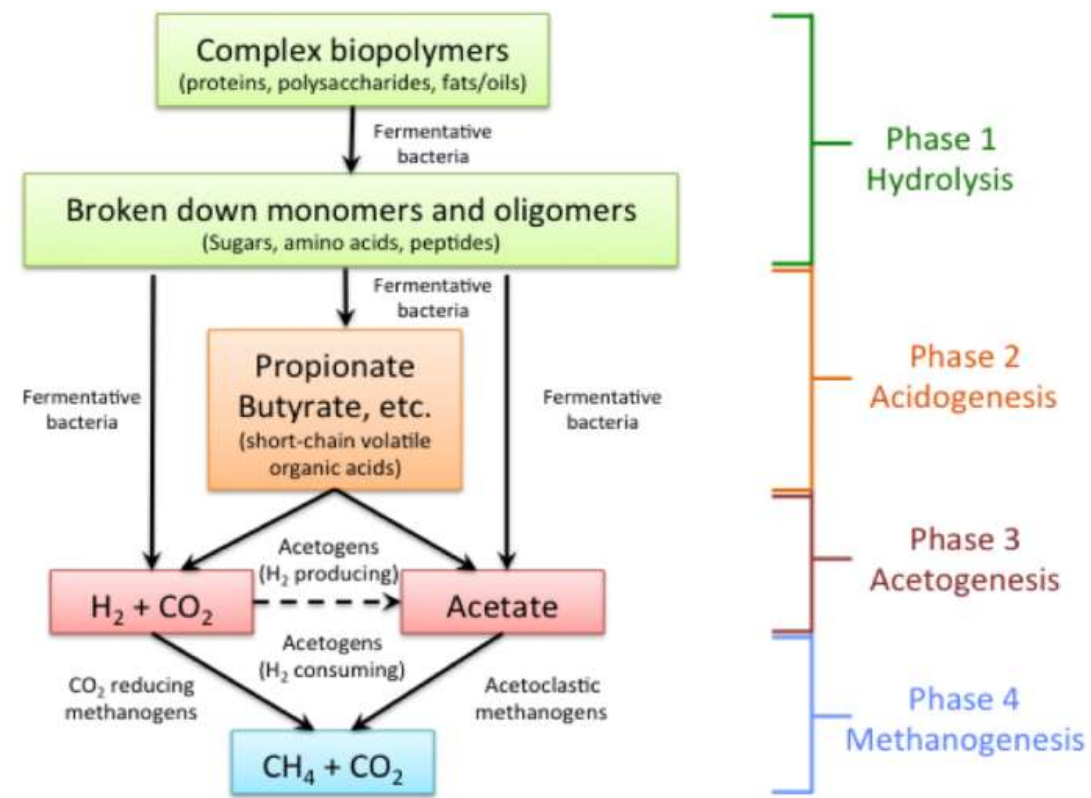


Figura Nro. 2. Esquema de cuatro fases de producción de biogás.
Fuente: BEEMS Module B7 - Anaerobic Digestion

El esquema muestra las cuatro etapas principales de la biodigestión anaeróbica:

Hidrólisis: Grandes moléculas orgánicas (carbohidratos, proteínas, lípidos) son descompuestas por bacterias hidrolíticas en moléculas más pequeñas como azúcares simples, aminoácidos y ácidos grasos.

Acidogénesis: Las bacterias acidogénicas fermentan los productos de la hidrólisis, produciendo ácidos orgánicos (como ácido acético, propiónico y butírico), alcoholes y dióxido de carbono.

Acetogénesis: Bacterias acetogénicas convierten los ácidos orgánicos y alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono.

Metanogénesis: Las bacterias metanogénicas utilizan el acetato, hidrógeno y dióxido de carbono para producir metano y dióxido de carbono como productos finales.

Tabla N° 2. Tabla Comparativa de Diferentes Tecnologías de Biodigestores

Tipo de Biodigestor	Descripción	Ventajas	Desventajas
De tanque agitado continuo (CSTR)	Reactor completamente mezclado, operación continua.	Alta eficiencia, fácil control de las condiciones de operación.	Mayor consumo de energía, riesgo de lavado de microorganismos.
De flujo pistón (PFR)	Reactor tubular, flujo en una dirección.	Alta producción de biogás, menor consumo de energía.	Dificultad en el control de las condiciones de operación, mayor tiempo de retención.
De lecho fijo	Sustrato contenido en un lecho fijo, el líquido percola a través del lecho.	Alta eficiencia, menor consumo de energía, menor riesgo de lavado de microorganismos.	Mayor tiempo de arranque, dificultad en la limpieza y mantenimiento.
De membrana	Utiliza membranas para separar el biogás del líquido.	Alta concentración de metano en el biogás, menor tamaño del reactor.	Alto costo de inversión y operación, susceptibilidad a la fouling.

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

II.1.2.2.4 Factores que Afectan la Biodegradación

Además de las etapas mencionadas, la eficiencia de la biodigestión está influenciada por diversos factores:

Temperatura: La temperatura óptima varía según los microorganismos dominantes. Se distinguen tres rangos de temperatura: psicofílica (10-20°C), mesofílica (30-37°C) y termofílica (50-60°C).

pH: El pH óptimo para la mayoría de los microorganismos metanogénicos está entre 6.5 y 7.5.

Relación C/N: Una relación carbono-nitrógeno adecuada (generalmente entre 20:1 y 30:1) es esencial para un buen funcionamiento del biodigestor.

Tiempo de retención hidráulico (TRH): El TRH es el tiempo promedio que el sustrato permanece en el reactor. Un TRH adecuado permite la completa degradación de la materia orgánica.

Concentración de inhibidores: Sustancias como amonio, metales pesados y compuestos fenólicos pueden inhibir el crecimiento de los microorganismos metanogénicos.

II.1.2.3.1 Tipos de Biodigestores y sus Características

Un biodigestor es un recipiente o tanque (cerrado herméticamente) que se carga con residuos orgánicos. En su interior se produce la descomposición de la materia orgánica para generar biogás, un combustible con el cual se puede cocinar, calentar agua y producir energía eléctrica, mediante un generador a gas. Los biodigestores se clasifican según su modo de operación y configuración. Los principales tipos son:

Batch: Operan de forma discontinua. Se carga una cantidad determinada de sustrato, se sella el reactor y se permite que la digestión ocurra durante un período específico. Luego, se descarga el digestato y se recarga el reactor. Son simples de construir y operar, pero tienen una baja eficiencia en comparación con otros sistemas.

Continuos: Operan de forma continua, con una alimentación constante de sustrato y una extracción continua de biogás y digestato. Se subdividen en:

De flujo pistón: El sustrato fluye a través del reactor en una sola dirección, sin mezcla significativa.

De mezcla completa: El contenido del reactor se mezcla continuamente, asegurando una composición uniforme.

II.1.2.3.1.1 Partes de un Biodigestor

Tanques de carga: Es el ducto por el cual va a ser alimentado el digestor y está construido de ladrillo común y su superficie interna lleva un aplanado de cemento. La alimentación se prepara en el tanque de carga y se introduce al digestor por la parte inferior a través de un tubo de PVC dirigido hacia la línea central del tanque.

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. La descarga se efectúa por el

efecto de vasos comunicantes: Al cargar el digestor, la presión del material que entra expulsa por el tubo de descarga una cantidad igual de material ya procesado (o agotado).

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. El gas producido por el digestor se almacena con el fin de tener disponible una cantidad suficiente en el momento que se requiera, utilizando cualquier recipiente hermético. En algunos tipos de digestores el almacenamiento está directamente sobre la boca, en esos casos es conveniente utilizar campanas flotantes metálicas que permiten disponer del gas a una presión constante.

Línea de conducción: La línea de conducción para una instalación típica, sus dimensiones van a depender de: a). -Del flujo de gas que se desea transportar y b). - De la distancia existente entre la planta y el lugar de uso. Vale la pena mencionar que las plantas de Biogás utilizan casi siempre manguera de PVC, debido a que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico. La manguera de PVC irá preferiblemente enterrada o recubierta para evitar el deterioro (cristalización) por la luz solar. De lo contrario, se colocará elevada para evitar daños físicos causados por personas o animales.

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. Estas válvulas, cuyo tamaño debe ser compatible con el diámetro de la tubería, deberán estar construidas en acero inoxidable o en PVC para evitar la corrosión por el ácido sulfhídrico.

Trampas: El gas debe ser purificado antes del uso. La purificación, en los casos en que el uso se reduce a calefacción, alumbrado o cocción de alimentos, tiene por objeto eliminar o disminuir el contenido de ácido sulfhídrico para proteger de la

corrosión los equipos, y a la reducción del contenido de agua presente en el gas como resultado del proceso de digestión.

a) Trampas de ácido sulfhídrico: Están constituidas por un recipiente relleno con material de hierro finamente dividido formando un lecho poroso a través del cual debe circular el gas para que reaccione con el metal y se deposite en el lecho.

La condición de porosidad se alcanza utilizando como relleno virutas de hierro o esponjillas de cocina de marca comercial. Estos materiales tienen la ventaja de ser de bajo costo y de oponer poca resistencia al flujo de gas, aspecto importante en razón de las bajas presiones que se manejan en este tipo de sistemas.

La forma del recipiente y las características del material utilizado para su construcción dependen del gusto del propietario de la planta. El único requisito es el de que sean completamente herméticos para evitar fugas de gas. Así, es posible encontrar, en plantas en operación trampas: Rectangulares construidas en hierro o en acero, pintadas con el mismo material empleado en el enlucimiento y protección de la campana.

Cilíndricas en acero. Estas se construyen a partir de secciones de tubería estándar de 2 pulgadas o más. Al igual que las anteriores, requieren de pintura interior y exterior para protegerlas de la corrosión.

Cilíndricas en PVC: Se construyen también a partir de tuberías estándar, o se arman utilizando accesorios (en Y) de PVC disponibles en el mercado. No requieren pintura protectora, pero deben en lo posible no exponerse a los rayos del sol.

La trampa de sulfhídrico actúa también como trampa de llama no sólo por la presencia del relleno sino por el mayor diámetro del recipiente con relación a la línea de conducción.

b) Trampas de agua: El agua arrastrada por el gas se separa cuando la corriente encuentra en su trayectoria una expansión brusca y una contracción posterior. Para lograr este propósito será suficiente instalar sobre la línea un accesorio idéntico a las trampas de sulfhídrico, con la diferencia de que no se necesitará el relleno de

material de hierro. Las trampas están provistas de un grifo de purga por donde se debe evacuar periódicamente el agua depositada en el fondo.

II.1.2.3.1.2 Ventajas y desventajas de los biodigestores Según Anders K (2015)

Ventajas de los biodigestores

- a) Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- b) Humaniza el trabajo de los campesinos, que antes debían buscar la leña en lugares cada vez más lejanos.
- c) Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- d) Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- e) Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.

La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos:

I) Mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4^+), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. Debe notarse que en los casos en que el estiércol es secado al medio ambiente, se pierde alrededor de un 50% del nitrógeno.¹⁴

II) El efluente es mucho menos oloroso que el afluente.

III) Control de patógenos. Aunque el nivel de destrucción de patógenos variará de acuerdo a factores como temperatura y tiempo de retención, se ha demostrado experimentalmente que alrededor del 85% de los patógenos no sobrevive el proceso

de biodigestión. En condiciones de laboratorio con temperaturas de 35° C, los coliformes fecales fueron reducidos entre el 50 y el 70%, y los hongos en 95% en 24 horas.¹⁵

Dificultades técnicas de los biodigestores: La construcción de biodigestores conlleva una serie de dificultades técnicas:

- a) El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- b) Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C. Esto puede encarecer el proceso de obtención en climas fríos.
- c) Es posible que, como subproducto, se obtenga SH₂, el cual es tóxico y corrosivo, dependiendo del sustrato de partida y de la presencia o no de bacterias sulfatorreductoras. La presencia de SH₂ hace que se genere menos CH₄, disminuyendo la capacidad calorífica del biogás y encarece el proceso por la necesidad de depurarlo.
- d) Necesita acumular los desechos orgánicos cerca del biodigestor.
- e) Riesgo de explosión, en caso de no cumplirse las normas de seguridad para gases combustibles.

II.1.2.3.1.3 Biodigestor de Tanque Agitado Continuo (CSTR)

Descripción: Un tanque cilíndrico o rectangular con un sistema de agitación constante para mantener los sólidos en suspensión y asegurar una mezcla homogénea del contenido.

Características visuales: Forma cilíndrica o rectangular, sistema de agitación central o lateral, tuberías de entrada y salida, posiblemente un techo flotante.

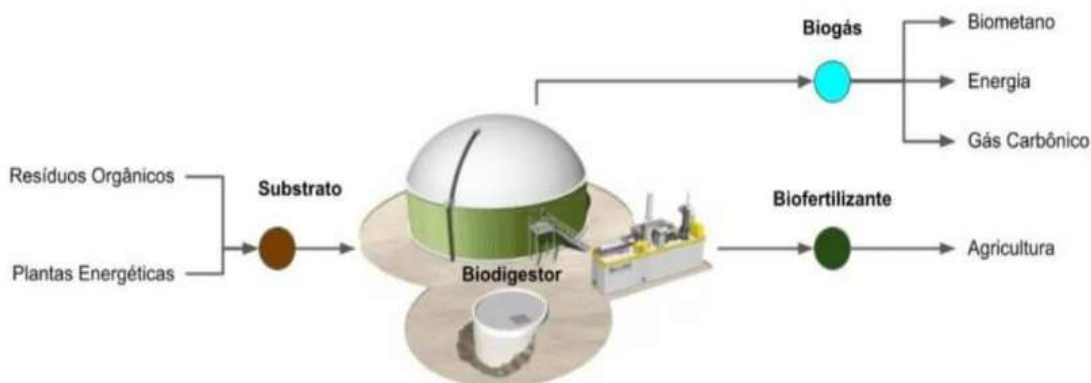


Figura Nro. 3. BIODIGESTOR CSTR

Fuente: Virapuru Engenharia e Sustentabilidade LTDA

II.1.2.3.1.4 Biodigestor de Flujo Pistón (PFR)

Descripción: Un reactor tubular largo y estrecho donde el material fluye en una sola dirección, similar a un tubo.

Características visuales: Forma tubular alargada, sección transversal circular o rectangular, entradas y salidas en extremos opuestos.

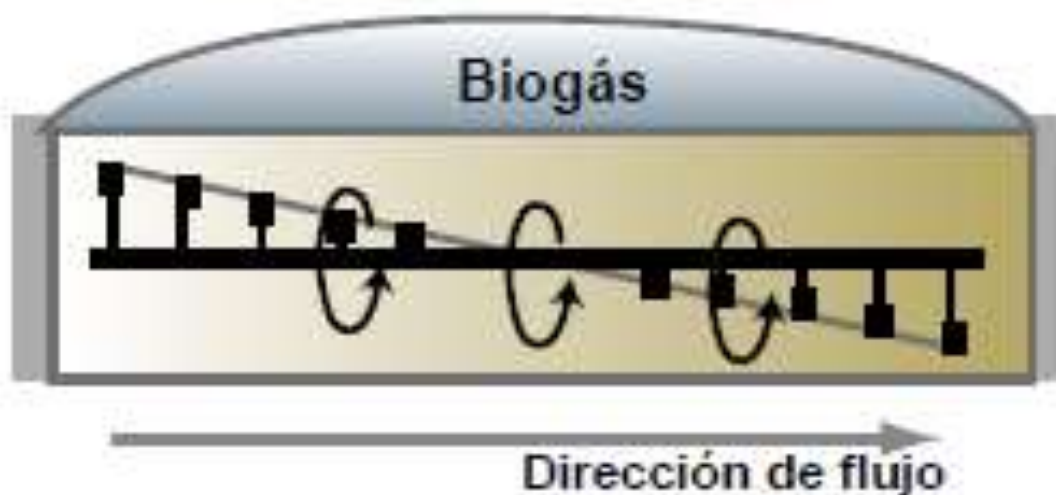


Figura Nro. 4. Esquema de flujo pistón.

Fuente: Ministerio de Energía Chile y GIZ, 2012.

II.1.2.3.1.5 Biodigestor de Lecho Fijo

Un biodigestor de lecho fijo es un recipiente que alberga microorganismos o células inmovilizadas en un soporte sólido, que puede ser de diferentes materiales. El objetivo es que los microorganismos conviertan los sustratos del medio de cultivo en

productos deseados. Los biorreactores de lecho fijo tienen varias ventajas, como: Mayor estabilidad de cultivo, Mayor productividad, Mayor facilidad de recuperación de los productos.

El reactor a presión atmosférica presenta una camisa de agua en la parte inferior y un revestimiento refractario en la parte superior. En este caso, el carbón desciende en un lecho en contracorriente con los gases y reacciona con el vapor y el aire, produciéndose así un gas pobre. Este tipo de reactor se utiliza cuando se dispone de carbones no aglutinantes, cuando el gas puede consumirse caliente o cuando la capacidad del proceso es relativamente pequeña.

El reactor a presión se utiliza cuando la capacidad del proceso es mayor. Permite aumentar la capacidad máxima del reactor, el índice de metano y el poder calorífico del gas. El carbón se introduce en el reactor a través de una esclusa que funciona de forma cíclica. El carbón cae por la parte superior y desciende por gravedad en el reactor. Una vez introducido el carbón, se calienta, se seca y se coquiza. La cantidad de vapor introducido depende de las características del carbón.

Descripción: Un reactor donde el material orgánico se coloca en un lecho fijo (por ejemplo, en un contenedor perforado) y el líquido percola a través del lecho.

Características visuales: Contenedor con material orgánico, sistema de distribución de líquido, drenaje en la parte inferior.

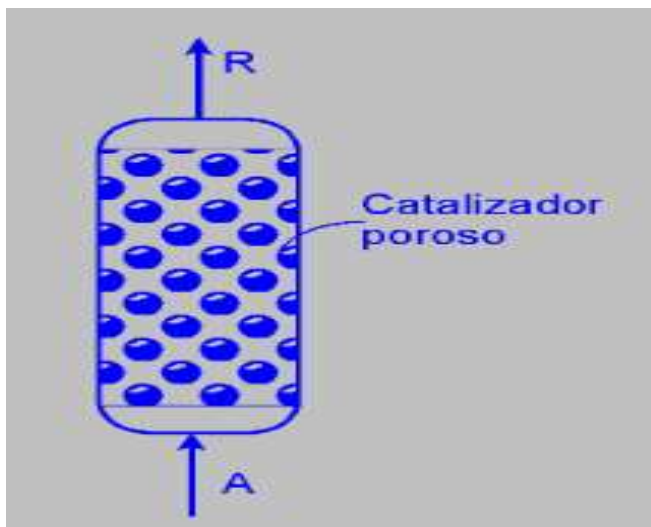


Figura Nro. 5. Biodigestor de Lecho Fijo
Fuente: Sistemas de reacción heterogéneos catalíticos

II.1.2.3.1.6 Biodigestor de Membrana

Descripción: Un biodigestor convencional combinado con un sistema de membranas para separar el biogás del líquido y concentrarlo.

Características visuales: Biodigestor convencional con módulos de membrana instalados, tuberías para la extracción de biogás concentrado.

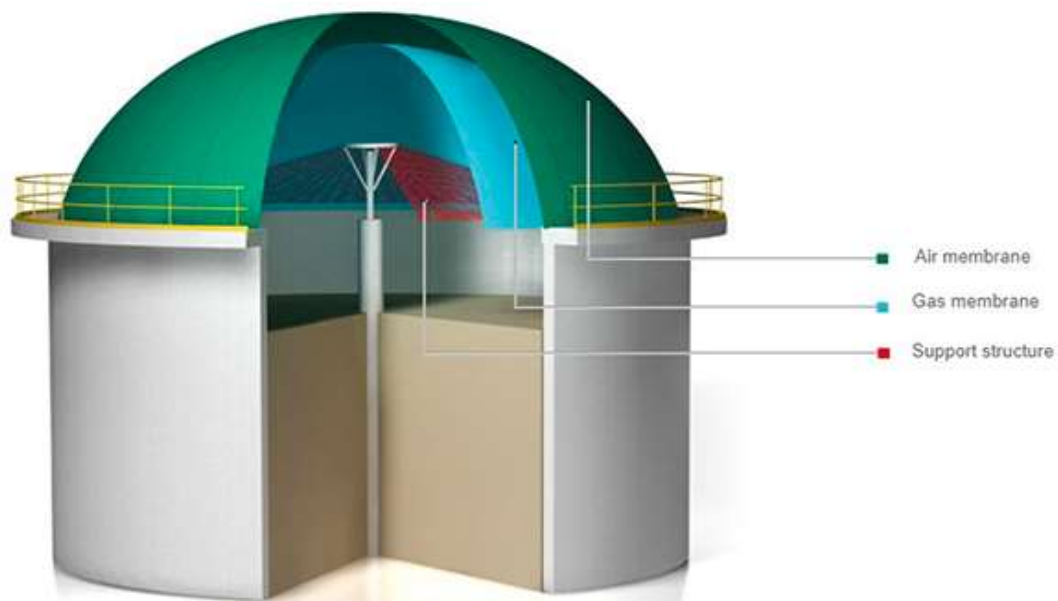


Figura Nro. 6. Biodigestor de membrana.
Fuente: Ecomembrane 7 de noviembre de 2020

II.1.2.4.1 Biogás: Composición y Usos

II.1.2.4.1.1 Breve historia y perspectivas

A continuación, se reseña la evolución del mundo en el descubrimiento y uso del biogás: 1770 El italiano Volta colecta gas de pantano e investiga su comportamiento.

1821 Avogadro identifica el Metano (CH_4).

1875 Propoff establece que la formación del biogás se lleva a cabo bajo condiciones anaeróbicas.

1884 Investigaciones de Pasteur sobre la información del biogás a partir de los desechos de animales. El propone la producción del biogás para su uso en las linternas de las calles.

1906 En Alemania se contribuye la primera planta de tratamiento anaeróbico de aguas residuales.

1913 Primer digestor anaeróbico con uso de calentamiento.

1920 Primera planta de depuración de aguas residuales en Alemania que provee el biogás recolectado en un servicio de gas público.

1940 Adición del uso de residuos orgánicos a la depuración de aguas residuales para aumentar la producción del biogás.

1947 Investigaciones demuestran que los desechos de una vaca pueden proporcionar cien veces más biogás que las heces fecales de una pequeña comunidad urbana.

1950 Instalación de la primera gran planta agrícola del biogás.

1950's Se construyen alrededor de 50 plantas productoras de biogás, alimentadas de una mezcla de aguas residuales y desechos fecales. Problemas técnicos llevan al cierre de todas las plantas excepto dos.

1974 Después de la primera crisis energética aumenta el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías en la producción del biogás.

1985 Se instalan alrededor de 75 plantas productoras de biogás. La demanda de este nuevo recurso aumenta.

1990 Gracias a la estabilidad del precio para la formación del biogás y el desarrollo de tecnología se comienza a usar para la generación de energía eléctrica. Debido al avance tecnológico se comienza a experimentar con diferentes tipos de sustratos para la generación de biogás.

1990 Se funda la asociación de biogás alemana (Fachvertand Biogás).

1997 Existen en Alemania más de 400 plantas agrícolas para la generación del biogás.

II.1.2.4.1.2 El biogás en el ámbito mundial

Actualmente la tecnología del biogás se usa prácticamente en todo el mundo, especialmente en aquellas zonas en donde no hay reservas fósiles considerables. En los países en vías de desarrollo, la preocupación por el aspecto energético se ha manifestado mediante la proliferación de esquemas de biogasificación – particularmente en los países deficientes en fuentes de energía. Junto a la proliferación de diseños propuestos, se ha dado una escalada en el número de instalaciones parabiogasificación que se suponen en operación en varios países en desarrollo. Aunque es verdad que el número de instalaciones construidas no es pequeño, hay poca evidencia que respalde la magnitud de los números reportados. Desgraciadamente los reportes normalmente no mencionan el número significativamente de aventuras sin éxito dentro de la biogasificación.

Es bien sabido que la biogasificación ha sido un elemento clave del tratamiento de aguas residuales en los países desarrollados casi desde los principios del tratamiento de las aguas residuales. Y mantiene ese status en la mayoría de los sistemas modernos del tratamiento de aguas. El rol es principalmente como un medio para tratar los sólidos suspendidos en la corriente y los sólidos producidos en el tratamiento secundario y terciario de aguas residuales. En años recientes se ha convertido en medio para tratar muchos desechos industriales.

II.1.2.4.1.3 ¿Cómo se forma el biogás?

Según FCFM Universidad de Chile en el año 2012, define: La biogasificación se puede designar alternativamente como fermentación de metano, producción de metano o digestión anaeróbica. El termino fermentación de metano se puede entender como la destrucción del gas mediante la fermentación microbiana; en la digestión anaeróbica, no siempre hay formación de metano, sin embargo, los términos se usan indistintamente.

Para los propósitos de este escrito, “Biogasificación” se define como la descomposición biológica de la materia orgánica de origen biológico en condiciones anaeróbicas, con la formación principalmente de metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2). Hay dos características que distinguen al proceso de otras descomposiciones biológicas, que son: en condiciones anaeróbicas y producción de metano.

II.1.2.4.1.4 Digestión anaeróbica

Según López Dávila (2012). En la naturaleza existen microorganismos (las bacterias) que se alimentan de residuos como los antes mencionados. Si estos se desarrollan en ausencia de aire (condición anaeróbica), al alimentarse con materia orgánica la transforman en gas y en un lodo rico en nutrientes que puede ser utilizado como abono.

Las bacterias requieren de un ambiente propicio, primero para sobrevivir y luego para multiplicarse hasta alcanzar una población suficiente para que su acción sea apreciable. Dichas condiciones son:

a) La ausencia de aire, para cumplir con el requisito de condición anaeróbica que permite la supervivencia de los microorganismos.

b) Las características del medio (llamado también el sustrato) donde crecen y se multiplican las bacterias. Aquí es importante destacar las siguientes:

La temperatura, que experimentalmente se ha determinado, debe ser mayor a los 20°C para lograr una buena producción.

El grado de acidez (conocido como pH). Si el ambiente es muy ácido, o lo contrario, puede causar la muerte de los microorganismos.

Los beneficios de la digestión anaeróbica desde un triple punto de vista: El gas, que puede utilizarse para producir energía; el fertilizante que, por sus características, constituye un abono orgánico de calidad comparable a los tradicionalmente empleados en el campo, como la gallinaza o el estiércol de res, y el control de la contaminación que se origina por la descomposición espontánea e incontrolada de la materia orgánica.

II.1.2.4.1.5 Los tres pasos de la producción de biogás

Según la Fundación Vida Sostenible (2014). Define: El proceso completo de formación de biogás se puede dividir en tres pasos: hidrólisis, acidificación y formación del metano. Están involucrados tres tipos de bacterias: Bacterias de fermentación, Bacterias acetogénicas y Bacterias metanógenas.

a) Hidrólisis

En el primer paso (hidrólisis), la materia orgánica es externamente enzimolizada por enzimas extracelulares (celulosa, amilasa, proteasa y lipasa) de los microorganismos. Las bacterias descomponen las largas cadenas de los complejos carbohidratos, proteínas y lípidos, en partes cortas.

b) Acidificación

Las bacterias productoras de ácidos, involucradas en el segundo paso, convierten los intermediarios de las bacterias de fermentación de ácido acético (CH_3COOH), hidrogeno (H_2) y bióxido de carbono (CO_2). Estas bacterias son facultativamente anaeróbicas y pueden crecer en condiciones ácidas. Para producir ácido acético, necesitan oxígeno y carbono; para esto utilizan el oxígeno disuelto en la solución u oxígeno enlazado. Debido a esto, las bacterias productoras de ácido crean una condición anaeróbica que es esencial para los microorganismos productores de metano. Además, reducen los compuestos de bajo peso molecular a alcoholes, ácidos orgánicos, aminoácidos, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, y tazas de metano.

c) Formación de metano

Las bacterias productoras de metano, que participan en el tercer paso, descomponen compuestos con bajo peso molecular. Por ejemplo, utilizan hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético para formar metano y bióxido de carbono.

En condiciones naturales, las bacterias que producen metano ocurren en la medida en que se proporcionen condiciones anaeróbicas, por ejemplo, bajo el agua (como en sedimentos marinos), en estómagos de rumiantes y en pantanos. Son obligatoriamente anaeróbicas y muy sensibles a cambios ambientales. Las bacterias metanógenas

pertenecen al género archaeobacter, o grupo de bacterias con una morfología muy heterogénea.

La diferencia principal con las bacterias acetogénicas, yace en la estructura de las paredes celulares de las bacterias.

II.1.2.4.2 Composición del Biogás

El biogás es una mezcla gaseosa producida por la descomposición anaeróbica de materia orgánica. Su composición varía dependiendo de diversos factores como el tipo de sustrato, las condiciones del proceso de digestión y la eficiencia del sistema de separación. Sin embargo, los principales componentes del biogás son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2).

El metano es el componente más valioso del biogás, ya que es un gas de efecto invernadero potente pero también un combustible con un alto poder calorífico. El dióxido de carbono, por su parte, diluye el metano y reduce su poder calorífico. Además de estos dos gases principales, el biogás puede contener pequeñas cantidades de otros gases como nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros hidrocarburos (Angelidaki et al., 2009).

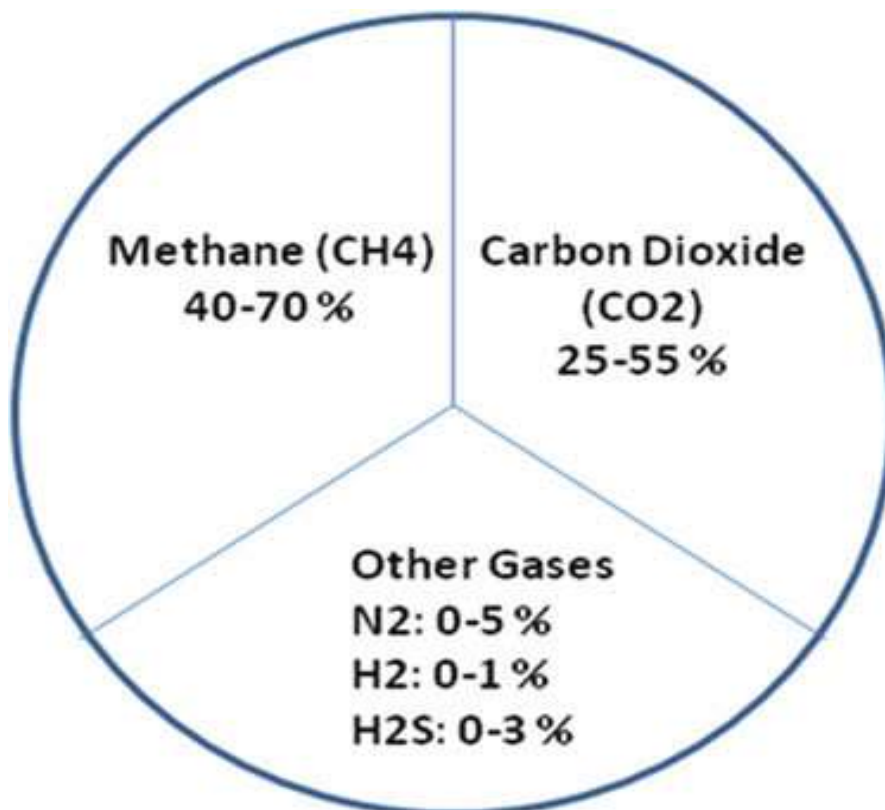


Figura Nro. 7. Composición típica del biogás.
Fuente: Gupta (2013)

II.1.2.4.3 Purificación del Biogás

Debido a la presencia de impurezas, como el sulfuro de hidrógeno, que pueden corroer equipos y reducir la eficiencia de la combustión, es necesario purificar el biogás antes de su utilización. Los métodos de purificación más comunes incluyen:

Absorción: El gas se pasa a través de un líquido absorbente que retiene las impurezas.

Adsorción: Las impurezas se adhieren a la superficie de un sólido adsorbente.

Membranas: Se utilizan membranas permeables al metano para separar el metano de los otros gases.

La purificación del biogás por absorción es un método común para eliminar impurezas como el dióxido de carbono (CO₂) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S),

mejorando la calidad del biogás y aumentando su valor calorífico. A continuación, te presento un esquema simplificado de este proceso:

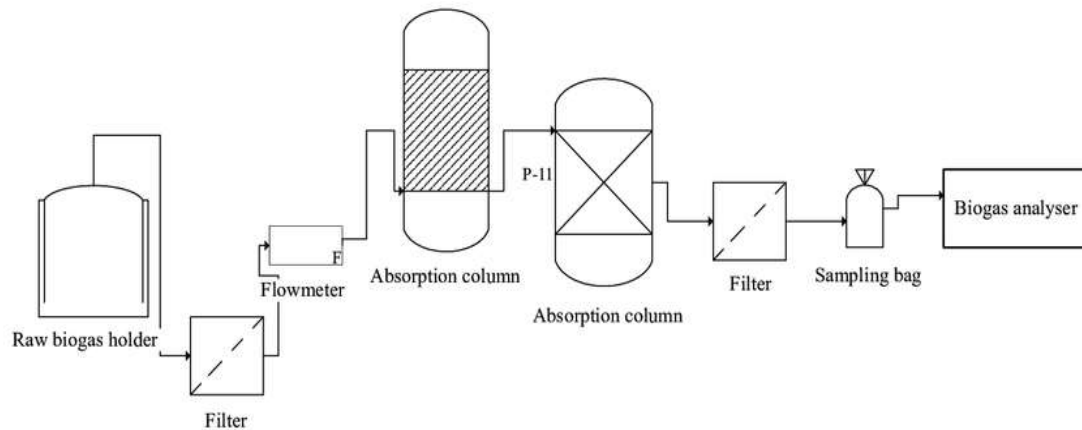


Figura Nro. 8. Esquema de un proceso de purificación de biogás por absorción.
Fuente: Jepleting, et. al. (2024)

II.1.2.4.4 Usos del Biogás

El biogás purificado puede utilizarse para una amplia variedad de aplicaciones, entre las que destacan:

Generación de electricidad: El biogás se quema en motores de combustión interna conectados a generadores eléctricos para producir electricidad.

Calefacción: El biogás se puede utilizar para calentar espacios, agua o procesos industriales.

Cocción: El biogás se puede utilizar como combustible para cocinar alimentos.

Combustible para vehículos: El biogás puede ser utilizado como combustible para vehículos, ya sea en forma comprimida (CBG) o licuada (LBG).

El poder calorífico es la cantidad de energía térmica liberada por la combustión completa de una unidad de masa de un combustible. A continuación, te presento un esquema comparativo del poder calorífico del biogás con otros combustibles comúnmente utilizados:

Tabla N° 3. Comparación del poder calorífico del biogás con otros combustibles

Combustible	Poder Calorífico (MJ/m³)	Observaciones
Biogás	20-25	Varía según la composición (metano, CO ₂) y el grado de purificación.
Gas Natural	35-40	Principalmente metano, alto poder calorífico.
Propano (GLP)		93 Gas licuado de petróleo, utilizado en cocinas y calefacción.
Butano (GLP)		110 Gas licuado de petróleo, utilizado en cocinas y calefacción.
Gasolina	32,000-34,000	Líquido inflamable utilizado en motores de combustión interna.
Diésel	35,000-38,000	Líquido inflamable utilizado en motores diésel.

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Análisis de la Tabla:

Biogás: Su poder calorífico es variable y generalmente menor que el de los combustibles fósiles. Sin embargo, es una fuente de energía renovable y sostenible.

Gas Natural: Es un combustible fósil con un poder calorífico superior al biogás, pero sus reservas son limitadas.

GLP: Los gases licuados de petróleo tienen un poder calorífico significativamente mayor que el biogás, pero son combustibles fósiles.

Gasolina y Diésel: Son líquidos inflamables con un poder calorífico muy superior al biogás, pero su combustión genera mayores emisiones de contaminantes.

II.1.2.4.4.1 Factores que Afectan el Poder Calorífico del Biogás

Composición: Un mayor contenido de metano aumenta el poder calorífico.

Impurezas: La presencia de impurezas como el dióxido de carbono reduce el poder calorífico.

Humedad: El agua presente en el biogás disminuye su poder calorífico.

El biogás es una fuente de energía renovable con un poder calorífico considerable, pero inferior al de muchos combustibles fósiles. La purificación del biogás puede aumentar su poder calorífico al eliminar impurezas. La elección del combustible dependerá de diversos factores, como la disponibilidad, el costo, las emisiones y las políticas energéticas. La elección del uso final del biogás dependerá de factores como la composición del biogás, la escala de producción, la disponibilidad de otras fuentes de energía y los costos de inversión y operación.

II.1.2.4.5.1 Materiales de Construcción, Factores de Diseño, Operación y Mantenimiento de Biodigestores

II.1.2.4.5.2 Materiales de Construcción

La selección de los materiales de construcción para un biodigestor es crucial, ya que influye en su durabilidad, costo y eficiencia. Los materiales más comúnmente utilizados son el concreto, la fibra de vidrio y los plásticos.

Concreto: El concreto es un material tradicionalmente utilizado en la construcción de biodigestores debido a su durabilidad y resistencia. Sin embargo, su construcción requiere de mano de obra especializada y puede resultar costosa. Además, el concreto puede ser susceptible a la corrosión por los ácidos producidos durante el proceso de digestión (Metcalf & Eddy, 2004).

Fibra de vidrio: La fibra de vidrio es un material ligero y fácil de moldear, lo que facilita su instalación. Es resistente a la corrosión y ofrece una buena relación resistencia/peso. Sin embargo, puede ser susceptible a daños mecánicos y su costo puede ser elevado en comparación con otros materiales (Angelidaki et al., 2009).

Plásticos: Los plásticos son materiales económicos y versátiles, lo que los hace atractivos para la construcción de biodigestores de pequeña escala. Sin embargo, su durabilidad puede ser limitada, especialmente cuando se exponen a la luz solar y a cambios de temperatura. Además, algunos plásticos pueden liberar compuestos químicos que pueden afectar la calidad del biogás (Metcalf & Eddy, 2004).

Tabla N° 4. Tabla Comparativa de Materiales para Biodigestores

Material	Ventajas	Desventajas
Concreto	Duradero, resistente	Costoso, requiere mano de obra especializada, susceptible a corrosión
Fibra de vidrio	Ligero, resistente a la corrosión	Susceptible a daños mecánicos, costo elevado
Plásticos	Económico, versátil	Durabilidad limitada, posible liberación de compuestos químicos

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

II.1.2.4.5.3 Factores de Diseño

El diseño de un biodigestor debe considerar varios factores para garantizar su eficiencia y durabilidad. Los principales factores de diseño son:

Capacidad: La capacidad de un biodigestor se determina en función de la cantidad de biomasa disponible y de la producción de biogás deseada. Una capacidad adecuada permitirá optimizar el proceso de digestión y minimizar los costos de operación (Angelidaki et al., 2009).

Temperatura: La temperatura óptima para la actividad microbiana varía según el tipo de microorganismo. Los biodigestores se clasifican en psicofílicos (10-20°C), mesofílicos (30-37°C) y termofílicos (50-60°C). La temperatura influye en la velocidad de reacción y en la composición del biogás (Metcalf & Eddy, 2004).

Tiempo de retención hidráulica (TRH): El TRH es el tiempo promedio que el sustrato permanece en el reactor. Un TRH adecuado es esencial para una buena digestión. Un TRH muy corto puede resultar en una baja eficiencia de conversión,

mientras que un TRH muy largo puede favorecer el crecimiento de microorganismos indeseables (Angelidaki et al., 2009).

Relación sustrato-inóculo: La relación entre la cantidad de sustrato y la cantidad de microorganismos influye en la velocidad de la reacción. Una relación adecuada garantiza una buena disponibilidad de nutrientes para los microorganismos y evita la inhibición del proceso (Metcalf & Eddy, 2004).

Tabla N° 5. Factores que Afectan la Eficiencia de un Biodigestor

Factor	Efecto
Temperatura	Influye en la velocidad de reacción y la composición del biogás.
pH	Afecta la actividad de los microorganismos.
Concentración de sólidos	Influye en la viscosidad y la eficiencia de mezclado.
Disponibilidad de nutrientes	Afecta el crecimiento de los microorganismos.
Inhibidores	Sustancias que pueden reducir la actividad microbiana.

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

II.1.2.4.5.4 Operación y Mantenimiento

La operación y mantenimiento adecuados de un biodigestor son fundamentales para garantizar su eficiencia y durabilidad. Las principales actividades de operación y mantenimiento incluyen:

Carga: La carga del sustrato al biodigestor debe realizarse de manera regular y uniforme para mantener una concentración adecuada de sólidos y una buena mezcla.

Mezclado: El mezclado es esencial para asegurar una distribución homogénea de los sólidos y una buena transferencia de masa y calor dentro del reactor. La frecuencia y la intensidad del mezclado dependerán del tipo de biodigestor y de las características del sustrato (Angelidaki et al., 2009).

Recolección de productos: El biogás producido debe ser recolectado de manera eficiente y segura. El digestato, que es el residuo sólido y líquido resultante del proceso de digestión, puede ser utilizado como fertilizante. La frecuencia de

extracción del digestato dependerá de la capacidad del biodigestor y de la tasa de producción de biogás.

II.1.2.5.1 Biofertilizante: Características y Beneficios

Los biofertilizantes son productos biológicos que contienen microorganismos benéficos y nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas. Estos microorganismos, como bacterias y hongos, establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas, ayudando a fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo, producir fitohormonas y estimular el crecimiento radicular (Vessey, 2003).

Microorganismos benéficos: Estos microorganismos, como bacterias y hongos, establecen relaciones simbióticas con las plantas, ayudando a fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo, producir fitohormonas y estimular el crecimiento radicular (Vessey, 2003). Algunos de los microorganismos más comunes en los biofertilizantes incluyen rizobios, micorrizas, bacterias promotoras del crecimiento de plantas (PGPR) y bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP).

Nutrientes: Además de los microorganismos, los biofertilizantes pueden contener nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos nutrientes pueden estar presentes en forma orgánica o inorgánica, y su disponibilidad depende de la actividad de los microorganismos (Rodríguez & Fraga, 2019).

II.1.2.5.2 Beneficios para el Suelo

Los biofertilizantes ofrecen una serie de beneficios para el suelo y las plantas:

Mejora de la estructura del suelo: Los microorganismos presentes en los biofertilizantes producen sustancias que ayudan a aglomerar las partículas del suelo, mejorando su estructura y aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes (Lynch, 2007).

Aumento de la fertilidad: Los biofertilizantes incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, especialmente nitrógeno y fósforo, gracias a la actividad

de los microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo (Vessey, 2003).

Reducción del uso de fertilizantes químicos: Al aumentar la fertilidad natural del suelo, los biofertilizantes permiten reducir el uso de fertilizantes químicos, lo que contribuye a disminuir la contaminación ambiental y los costos de producción (Rodríguez & Fraga, 2019).

Promoción del crecimiento vegetal: Los biofertilizantes estimulan el crecimiento de las plantas a través de la producción de fitohormonas, la protección contra patógenos y la mejora de la absorción de nutrientes (Vessey, 2003).

II.1.2.5.3 Aplicación del Biofertilizante

La aplicación de biofertilizantes requiere considerar diversos factores, como el tipo de cultivo, las condiciones del suelo y el tipo de biofertilizante utilizado.

Dosificación: La dosis de biofertilizante a aplicar varía según las recomendaciones del fabricante y las características del suelo y el cultivo. Es importante seguir las indicaciones del producto para evitar aplicaciones excesivas o deficientes.

Momento de aplicación: El momento óptimo de aplicación del biofertilizante depende del tipo de cultivo y del microorganismo utilizado. Algunos biofertilizantes se aplican al suelo antes de la siembra, mientras que otros se aplican al momento de la siembra o durante el crecimiento del cultivo.

Los biofertilizantes ofrecen una alternativa sostenible y ecológica a los fertilizantes químicos tradicionales. Al mejorar la salud del suelo y promover el crecimiento de las plantas, contribuyen a una agricultura más sostenible y a la producción de alimentos más saludables.

Tabla N° 6. Comparación de los diferentes tipos de microorganismos

Tipo de Microorganismo	Función Principal	Ejemplos de Géneros
Fijadores de Nitrógeno	Convierten el nitrógeno atmosférico en formas utilizables por las plantas.	Rhizobium, Bradyrhizobium, Azotobacter, Azospirillum
Solubilizadores de Fósforo	Disuelven el fósforo insoluble en el suelo, haciéndolo disponible para las plantas.	Pseudomonas, Bacillus, Aspergillus
Promotoras del Crecimiento de Plantas (PGPR)	Producen sustancias que estimulan el crecimiento de las raíces y protegen a las plantas de patógenos.	Pseudomonas, Bacillus, Azotobacter
Micorrizas	Forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, mejorando la absorción de agua y nutrientes.	Glomus, Rhizophagus, Suillus
Productoras de Fitohormonas	Sintetizan hormonas vegetales que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas.	Pseudomonas, Bacillus, Azotobacter
Biocontroladores	Compiten con patógenos y producen sustancias antimicrobianas, protegiendo a las plantas de enfermedades.	Bacillus, Trichoderma, Pseudomonas

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Fijadores de Nitrógeno: Estos microorganismos son esenciales para la agricultura, ya que el nitrógeno es un nutriente limitante para el crecimiento de las plantas. Forman nódulos en las raíces de las leguminosas (como frijoles, chícharos) y fijan el nitrógeno atmosférico, convirtiéndolo en amoníaco que las plantas pueden utilizar.

Solubilizadores de Fósforo: El fósforo es otro nutriente esencial para las plantas, pero a menudo se encuentra en formas insolubles en el suelo. Estos microorganismos producen ácidos orgánicos que disuelven el fósforo, haciéndolo disponible para las raíces de las plantas.

Promotoras del Crecimiento de Plantas (PGPR): Estas bacterias colonizan las raíces de las plantas y producen sustancias como auxinas, giberelinas y citoquininas, que estimulan el crecimiento de las raíces y la producción de biomasa. Además, pueden producir sideróforos que secuestran hierro, un nutriente esencial para las plantas, y antibióticos que inhiben el crecimiento de patógenos.

Micorrizas: Son hongos que forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres. Las hifas de los hongos se extienden por el suelo, aumentando la superficie de absorción de agua y nutrientes para la planta.

Productoras de Fitohormonas: Estos microorganismos producen hormonas vegetales que regulan diversos procesos fisiológicos de las plantas, como el crecimiento, el desarrollo de raíces y brotes, y la floración.

Biocontroladores: Estos microorganismos compiten con patógenos por nutrientes y espacio, producen sustancias antimicrobianas que inhiben el crecimiento de patógenos, y pueden inducir resistencia en las plantas.

La composición exacta de un biofertilizante puede variar dependiendo del fabricante y del cultivo al que se destine. Es importante seleccionar un biofertilizante que contenga los microorganismos más adecuados para las condiciones específicas del suelo y el cultivo.

II.1.2.6.1 Biodigestores en la Producción Animal: Una Solución Sostenible

II.1.2.6.2 Aplicaciones en Granjas

Los biodigestores han emergido como una tecnología prometedora en el sector de la producción animal, ofreciendo una solución sostenible para el manejo de los residuos orgánicos generados en las granjas. Al aprovechar el estiércol y otros residuos como sustrato, los biodigestores permiten transformar estos materiales en biogás, un combustible renovable, y en biofertilizante, un producto de alto valor agrícola.

La aplicación de biodigestores en granjas presenta múltiples ventajas, entre las que destacan:

Aprovechamiento del estiércol: El estiércol, que tradicionalmente se ha considerado un desecho, se convierte en una materia prima valiosa para la producción de energía y fertilizantes. Esto no solo reduce los costos asociados con la disposición final del estiércol, sino que también minimiza los riesgos de contaminación del suelo y del agua.

Reducción de olores: El proceso de digestión anaeróbica que ocurre dentro del biodigestor descompone los compuestos orgánicos responsables de los malos olores asociados al estiércol, mejorando así las condiciones sanitarias y ambientales de las granjas.

Mejora de la higiene: Al procesar el estiércol en un ambiente controlado, los biodigestores reducen significativamente la presencia de patógenos y otros microorganismos dañinos, lo que contribuye a mejorar la salud animal y la seguridad alimentaria.

Producción de biogás: El biogás generado en los biodigestores puede utilizarse para generar electricidad, calefacción o como combustible para vehículos, lo que reduce la dependencia de los combustibles fósiles y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.

Producción de biofertilizante: El digestato, producto residual del proceso de digestión anaeróbica, es un excelente fertilizante orgánico que puede ser aplicado a los cultivos, mejorando su productividad y calidad.

II.1.2.6.3 Casos de Éxito: Estudios de Caso de Implementación de Biodigestores en Sistemas de Producción Animal Similares

Numerosos estudios de caso a nivel mundial han demostrado la viabilidad y los beneficios de la implementación de biodigestores en sistemas de producción animal. Por ejemplo, en Dinamarca, varias granjas porcinas han adoptado la tecnología de biodigestores, logrando reducir significativamente sus emisiones de metano y amoníaco, así como mejorar la calidad del aire y del agua en sus alrededores (Hansen et al., 2010).

II.1.2.6.4 Beneficios Económicos y Ambientales

La implementación de biodigestores en granjas genera una serie de beneficios económicos y ambientales:

Ahorro en costos de energía: Al producir su propia energía a partir del biogás, las granjas pueden reducir significativamente sus costos de operación.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: Los biodigestores contribuyen a mitigar el cambio climático al capturar el metano, un potente gas de efecto invernadero, que de otro modo sería liberado a la atmósfera.

Mejora de la imagen de la finca: Las granjas que implementan biodigestores demuestran su compromiso con la sostenibilidad y la protección del medio ambiente, lo que puede mejorar su reputación y facilitar el acceso a nuevos mercados.

Generación de ingresos adicionales: La venta de excedentes de biogás o biofertilizante puede generar ingresos adicionales para las granjas.

II.1.2.7.1 Marco Legal y Políticas Públicas para Biodigestores

II.1.2.7.2 Marco Legal Internacional

A nivel internacional, existen diversos tratados y acuerdos que promueven el uso de energías renovables y la gestión sostenible de residuos. El Protocolo de Kyoto, el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas son ejemplos de instrumentos internacionales que establecen metas y marcos para la acción climática y la transición hacia economías bajas en carbono. Estos acuerdos, aunque no son directamente vinculantes a nivel nacional, influyen en la formulación de políticas nacionales y regionales.

II.1.2.7.3 Marco Legal Nacional (Venezuela)

En Venezuela, la legislación ambiental y energética ha evolucionado en las últimas décadas, reconociendo la importancia de promover el uso de energías renovables y la gestión sostenible de los recursos naturales. La Ley Orgánica del Ambiente, la Ley de

Gestión de la Diversidad Biológica, la Ley de Aguas y la Ley de Tierras, entre otras, contienen disposiciones relevantes para la implementación de biodigestores.

II.1.2.7.4 Legislación Ambiental: Normas y Regulaciones

La legislación ambiental venezolana establece normas y regulaciones para la gestión de residuos sólidos, líquidos y peligrosos. Estas normas suelen incluir requisitos para el tratamiento y disposición final de los residuos, así como incentivos para la adopción de tecnologías limpias como los biodigestores.

II.1.2.7.5 Incentivos y Programas de Apoyo

El gobierno venezolano ha implementado diversos programas e incentivos para promover la implementación de biodigestores, especialmente en el sector agrícola. Estos programas pueden incluir financiamiento, asistencia técnica, exenciones fiscales y tarifas preferenciales para la energía generada a partir de biogás.

II.1.2.8.1 Planificación y diseño de un biodigestor

Cabrera (2011) Define: Lo siguientes son los aspectos a tener en cuenta en el diseño, planificación y construcción de un biodigestor, a continuación, se describirá el proceso de construcción de un biodigestor de domo fijo ya que se considera que es el más seguro y el más fácil de construir. Será circular considerando que las características de este nos permiten un mejor aprovechamiento de la biomasa al no quedarse está estancada en ninguna esquina. Además de contar con loza y no con cúpula debido que requiere de una detallada elaboración.

II.1.2.8.2 Factores humanos

- a) Idiosincrasia
- b) Necesidad, la cual puede ser sanitaria, energía y de fertilizantes.

c) Recursos disponibles de tipo económicos, materiales de construcción, mano de obra, utilización del producto, área disponible.

d) Disponibilidad de materia prima, si se cuentan con desechos agrícolas, desechos pecuarios, desechos domésticos, desechos urbanos, desechos industriales.

II.1.2.8.3 Factores biológicos

a) Enfermedades y plagas tanto humanas como pecuarias y agrícolas Factores físicos.

a) Localización, la ubicación si es en zona urbana, rural o semi-urbana y la geografía aspectos como la latitud, longitud y altitud.

b) Climáticos dentro de estos aspectos están las temperaturas máximas y mínimas, la precipitación pluvial, la humedad ambiental, la intensidad solar, los vientos su intensidad y dirección.

c) Vías de acceso.

d) Topografía, teniendo en cuenta el declive del suelo: si es plano, ondulado, o quebrado.

e) Suelos con sus características como la textura, estructura, nivel freático y capacidad agrológica.

II.1.2.8.4 Factores utilitarios

a) Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativa o productiva.

b) Usos, si el uso es de tipo sanitario, energético, fertilizante, integral.

c) Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar, comunitario o empresas.

d) Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ / digestor; si es mediano de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100 m³ / digestor.16

e) Operación de la instalación contemplando aspectos como el funcionamiento del pretratamiento, la mezcla, la carga, y controles de PH, obstrucciones de líquidos, sólidos y gases: las descargas de efluentes tanto líquidas como gaseosas y de lodos; el almacenamiento de los líquidos, sólidos y gases; la aplicación de líquidos por bombeo, por tanques regadores o arrastre por riego; los sólidos que están disueltos en el agua y los sólidos en masa y por último los gases utilizados para la cocción, iluminación e indirectamente en los motores.

Con el objetivo de disminuir el tamaño de los digestores se han utilizado los productos orgánicos que brindan mayor cantidad de biogás por unidad de volumen; algunos de ellos son: la excreta animal, la cachaza de la caña de azúcar, los residuales de mataderos, destilerías y fábricas de levadura, la pulpa y la cáscara del café, así como la materia seca vegetal.

II.1.2.8.5 Proceso de construcción

A continuación, se describirá el proceso de construcción de un biodigestor de domo flotante. Puede ser circular o rectangular, aunque se recomienda más el de tipo circular considerando que las características de estenos permiten un mejor aprovechamiento de la biomasa al no quedarse está estancada en ninguna esquina.

II.1.2.8.5.1 Selección del lugar, trazado y excavación

a.- La planta de biogás se instalará cerca del lugar que subministrará la materia prima y alejada de mantos acuíferos y tuberías de agua. Además de estar ubicada en un sitio donde reciba el sol durante la mayor parte del día, evitando las zonas con tráfico continuo de personas o animales.

b.- Demarcar el foso para el digestor t para los tanques de carga y de descarga.

c.- Excavar simultáneamente el foso para el digestor y las zanjas para la colocación de los ductos de carga y descarga.

Se traza un círculo en la tierra de 2.15 m de diámetro y se cava un hoyo de 2 m de profundidad.

II.1.2.8.5.2 Construcción del digestor

El piso se construye sobre una base firme y compacta sobre la cual se coloca una parrilla de varilla junto con una cadena armada de la cual nacerán los castillos que soportarán la estructura del digestor, se cuela la loza del piso con una mezcla de cemento y arena. Una vez realizado el paso anterior se comenzará el desplante de las paredes que irán formadas de tabique, pegadas con cemento y llevarán un aplanado fino por una mezcla de cemento y arena.

Si la tierra es compacta, no será necesario construir el tanque principal del digestor con mampostería o tabique, bastará un cilindro de malla de gallinero, de 1.55 m de diámetro y 2.2 m de altura, con 3 castillos (de donde saldrán los topes para la campana). Se pueden construir afuera y luego colocarse en el hoyo.

II.1.2.8.5.3 Construcción de los tanques de carga y descarga

Los tanques de carga y descarga se construyen de tabique pegados con cemento sobre una base de concreto simple y aplanados con una mezcla de cemento y arena en proporción de 1:3 con .7 lt de agua por kilogramo de cemento y conectados al digestor por un tubo de PVC sanitario.

El tanque de alimentación se construye con tabique sobre una losa encima del suelo. El tanque de descarga debe quedar enterrado.

Se excavan dos zanjas a lados opuestos del tanque principal de 1.2 metros de longitud, donde se colocarán los ductos que comunican los tanques de alimentación y descarga con el tanque principal.

II.1.2.8.5.4 Sellado e impermeabilizado del tanque

Una vez aplanado el tanque del digestor se procederá a recubrir con un sellador acrílico e impermeabilizarlo con pintura epóxica.

II.1.2.8.5.5 Construcción y colocación de la campana

La campana puede ser realizada de fibra de vidrio y de lámina de acero galvanizado y recubierta con pintura anticorrosiva.

II.1.2.8.5.6 Descripción del proceso Molienda.

Es recomendable moler el estiércol fresco que se va a utilizar para la digestión, ya que al disminuir el tamaño de los sólidos se está aumentando el área de contacto con los microorganismos encargados de iniciar el proceso. En caso de que no se cuente con un equipo para la molienda, esta etapa puede pasar inadvertida. Tomando en cuenta lo anterior, el siguiente paso es vaciar el estiércol en un recipiente adecuado para el acondicionamiento o bien se puede hacer directamente en el digestor.

II.1.2.8.5.7 Acondicionamiento.

Esta etapa es la más importante del proceso para obtener una solución (agua-excreta) que garantice la producción de biogás. Para ello se realizan los pasos siguientes:

a) Recolección de la excreta se hará manualmente directamente del establo y se almacenará en un tanque mezclador por uno o dos días dependiendo del modo de operación, aunque es recomendable dejarlo 2 días para permitir que todo el aire se elimine durante esta estancia en el tanque.

b) Adicionar la cantidad necesaria de agua para obtener una concentración aproximada del 8% en peso de sólidos totales.

II.1.2.8.5.8 Carga del digestor.

La carga del digestor se hará por gravedad ya que el estiércol sea adicionado directamente del establo.

II.1.2.8.5.9 Descarga.

El efluente se debe descargar de la manera adecuada para evitar que entre aire en el biodigestor. Los lodos se pueden aplicar como fertilizante y el sobrenadante se puede utilizar como agua de riego. El componente líquido se puede utilizar además para el acondicionamiento de la solución de alimentación y el efluente sólido puede ser tratado para separar las proteínas que contiene las cuales pueden utilizarse como componente alimenticio para el ganado y los sólidos restantes para el acondicionamiento del suelo del cultivo.

II.1.2.8.6.1 Operación propuesta del sistema de digestión.

La operación del digestor resulta ser muy sencilla, como se muestra a continuación en base al diagrama del sistema de la figura.

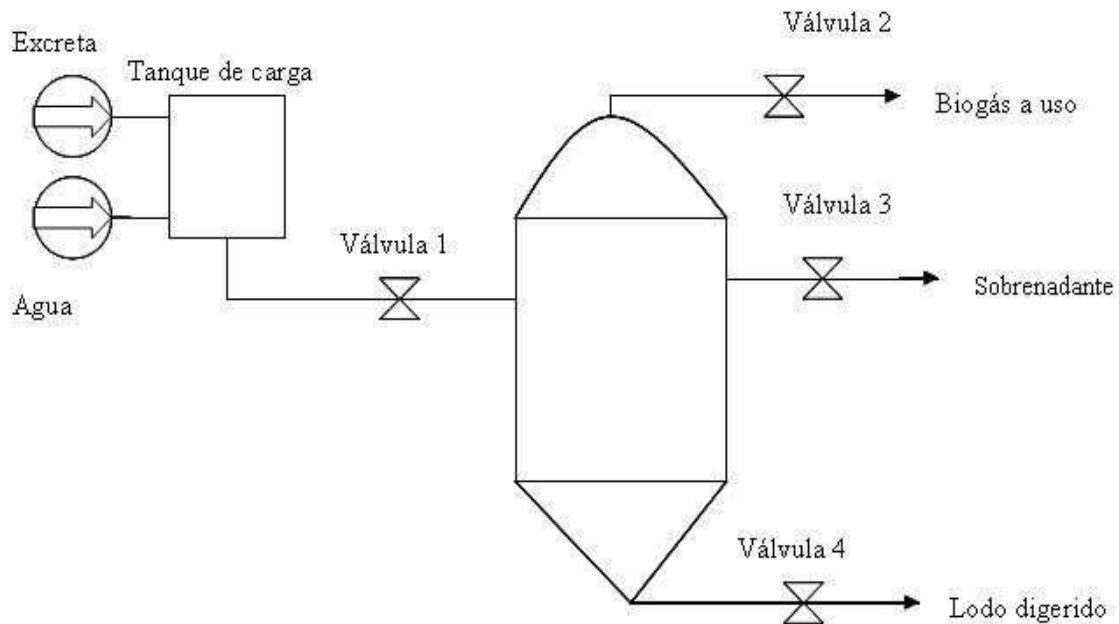


Figura Nro. 9. Operación del sistema de digestión.
Fuente: adaptación de Cabrera (2011)

- a.- Verificar que las válvulas estén cerradas
- b.- Abrir la válvula 2 de descarga del biogás con el fin de purgar el equipo.
- c.- Abrir la válvula 1 de alimentación.
- d.- Alimentar al digestor.
- e.- Cerrar las válvulas de descarga del biogás y la alimentación, después de haber cargado toda la alimentación.
- f.- Purgar diariamente el biogás producido por la válvula de descarga de biogás con el propósito de eliminar la más mínima presencia de aire, así como algo de vapor de agua y de CO₂ que se hayan formado.
- g.- Verificar a la salida si hay combustión de biogás.

h.- Cargar al digestor la excreta que se vaya produciendo y retirar aproximadamente la misma cantidad de lodo digerido mediante la válvula 4 para mantener un régimen semicontinuo de operación.

i.- Retirar también el sobrenadante del digestor mediante la válvula 3.

II.1.2.8.6.2 Modo de operación.

En un principio se alimentará del digestor la excreta recolectada y se iniciará una operación en serie del sistema, pero si la cantidad de excreta aumenta por el aumento de ganado, entonces se pretende operar un sistema en paralelo con dos tanques, cada tanque funcionando por separado.

II.1.2.8.6.3 Producción de gas y composición

La producción de gas funciona como indicador, tanto de la condición de cultivo, como de la eficiencia del desempeño de un digestor. La producción de gas normalmente se expresa en términos de volumen de gas producido por unidad de masa de sólidos totales y sólidos orgánicos introducidos.

El volumen esperado de gas por unidad de materia orgánica es función del tiempo de retención y otras características operacionales, así como de la naturaleza de los desechos.

La velocidad de producción de gas que se usa como parámetro de la digestión de un desperdicio dado es aquella que es característica del cultivo una vez que ha alcanzado el “régimen permanente.” La producción de gas es un parámetro particularmente útil, pues es fácil reconocer, además de que da una respuesta inmediata a una condición adversa.

La producción de gas, cuando se usa como parámetro, no se debe interpretar como completamente independiente de la composición de gas. El gas de interés en la composición es el metano. Generalmente cuando mayor sea la concentración de carbohidratos en los desperdicios, más se acercará a 1:1 la relación metano: bióxido de carbono

II.1.2.8.7.1 Usos del biogás

Ruiz (2015), Define: La gran variedad de biomasas existentes unida al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de ésta en energía (Combustión directa, Pirólisis, Gasificación, Fermentación, Digestión anaeróbica.) permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad.

II.1.2.8.7.2 Producción de abono orgánico

En el proceso de la digestión anaeróbica y la producción del biogás deja como residuo un lodo compuesto por el material no atacado por las bacterias y por material no atacado por éstas. Este lodo, conocido, conocido también como el efluente, constituye un fertilizante orgánico de muy buena calidad.

Como el proceso solo remueve los gases generados en el lodo deben conservarse los nutrientes originales contenidos en la materia prima. Estos quedan en forma más concentrada, y pueden ser absorbidos más fácilmente, mejorando las características fertilizantes del material. La aplicación del afluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcanzan con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad, la infiltración de agua y la capacidad de intercambio catiónico.

Se ha encontrado, por ejemplo, que la aplicación del efluente de biodigestores que operan con estiércol de res, y cerdos en ensayos comparativos con uso directo del estiércol, ha mejorado los rendimientos agrícolas del maíz, en un 28%. Ello se debe en parte a la mayor facilidad de absorción de los nutrientes, y a la mayor riqueza del afluente: Contiene 1.5% de nitrógeno contra 0.75% del estiércol, y 0.7% de K contra 0.4% de la materia prima. Esta situación hace que el afluente sea más efectivo que muchos de los abonos orgánicos químicos utilizados normalmente.

II.1.2.8.7.3 Sustancias orgánicas en los fertilizantes

Así como hay sustitutos inorgánicos para los nutrientes nitrógeno, potasio y fósforo de un fertilizante orgánico, no existe sustituto artificial para otras sustancias como proteína, celulosa, lignina, etc. Todas ellas contribuyen a incrementar la permeabilidad e higroscopia, mientras previenen la erosión y mejoran las condiciones generales de la agricultura. Las sustancias orgánicas además constituyen la base para el desarrollo de los microorganismos responsables de convertir los nutrientes del suelo en una forma que pueda fácilmente ser incorporada por las plantas.

II.1.2.8.7.4 Nutrientes y Organismos del Suelo

Debido a la descomposición y agotamiento de parte de su contenido orgánico, los lodos digeridos proporcionan nutrientes de acción rápida que fácilmente entran en la solución del suelo, quedando inmediatamente disponibles para las plantas. Simultáneamente sirven como nutrientes primarios para el desarrollo de los organismos del suelo, como la sustitución de los microorganismos perdidos a través de la exposición al aire durante el esparcimiento del lodo sobre los campos.

II.1.2.8.7.5 Reducción de la Erosión del Suelo.

La materia húmica y los ácidos húmicos presentes en los lodos contribuyen a una humificación más rápida que a su vez ayuda a reducir la velocidad de erosión (debido a lluvia o dispersión en seco), incrementando el suministro de nutriente, la higroscopía, etc. El contenido de humus es especialmente importante en los suelos tropicales con bajo en humus. La cantidad de humus estable formada con lodos digeridos es el doble de la que se puede lograr con estiércol. Además, se ha demostrado que la actividad de los gusanos de tierra se estimula más al fertilizar con lodos que fertilizando con estiércol de establo.

II.1.2.8.7.6 Reducción del deslave de Nitrógeno

Al ser comparado con fertilizantes con alto contenido de nitratos y nitritos más solubles en agua (estiércol, composta), el elevado contenido de amonio del lodo digerido ayuda a reducir la velocidad con la que se deslava el nitrógeno.

II.1.2.8.7.7 Efectos sobre los cultivos.

Se sabe que generalmente la producción de los cultivos es más alta después de una fertilización con lodos digeridos la mayoría de los cultivos como papa, rábano, zanahoria, col, cebolla, ajo, etc. y muchos tipos de frutas (naranja, manzana, guayaba, mango, etc.), caña de azúcar, arroz, parecen reaccionar favorablemente a la fertilización con lodos. En contraste los cultivos como trigo, oleaginosas, algodón y tabaco reaccionan menos favorablemente. Los lodos son un buen fertilizante para pasturas y prados. Los datos disponibles tienen grandes variaciones, pues el efecto fertilizante no solo es específico de cada planta, sino también depende del clima y tipo de suelo. Por lo tanto, no se puede ofrecer información definitiva, tampoco, por la misma razón, es posible ofrecer una comparación económica del costo de los fertilizantes químicos contra el de los lodos del biogás. El único hecho indiscutible es que los de biogás son mejores desde el punto de vista ecológico.

II.1.3 Bases legales

II.1.3.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

Los estudiantes de la UNELLEZ fundamentan su propuesta en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), que en su artículo 127 establece: "Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro". Esta disposición constitucional subraya la responsabilidad de los ciudadanos y las instituciones en la preservación del ambiente, lo que justifica la implementación de un biodigestor para el manejo de residuos orgánicos en la Finca Centenera. Además, el artículo 129 de la misma constitución, "Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser

previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural". Por lo que se debe realizar el estudio pertinente para la realización del proyecto.

II.I.3.2 Legislación Ambiental

La Ley Orgánica del Ambiente (2006) y la Ley de Gestión Integral de la Basura (2010) son pilares fundamentales. La primera, en su artículo 3, numeral 1, define la gestión integral de residuos como "el conjunto de acciones dirigidas a la reducción, reutilización, reciclaje, tratamiento y disposición final de los residuos, con el fin de proteger la salud humana y el ambiente". La segunda, por su parte, establece la obligatoriedad de implementar sistemas de tratamiento para residuos orgánicos en actividades agropecuarias. Los estudiantes de la UNELLEZ consideran que el biodigestor se alinea con estos mandatos legales, al transformar los residuos de la finca en biogás y bioabono, reduciendo así su impacto ambiental.

II.I.3.2 La Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2001)

La Ley de Tierras y Desarrollo Agrario (2001) promueve el desarrollo de una agricultura sustentable y la diversificación de la producción. En este contexto, la implementación de un biodigestor se presenta como una estrategia para aprovechar los recursos de la finca de manera eficiente y sostenible. Además, la normativa del Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral (INSAI) establece los requisitos sanitarios para el manejo de residuos en explotaciones pecuarias, lo que refuerza la necesidad de implementar un sistema de tratamiento adecuado en la Finca Centenera.

II.1.4 Definición de términos básicos

Para una adecuada comprensión de la investigación propuesta, es fundamental establecer una base conceptual sólida a través de la definición de términos clave. A continuación, se presentan las definiciones de los términos más relevantes en el contexto de los biodigestores y su aplicación en la Finca Centenera.

II.1.4.1 Términos Clave y Definiciones

Biodigestor: Un biodigestor es un reactor biológico en el cual, en ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas), microorganismos especializados descomponen la materia orgánica (como estiércol, residuos agrícolas y aguas residuales) produciendo

biogás, un combustible gaseoso, y un efluente líquido rico en nutrientes, conocido como biofertilizante (Metcalf & Eddy, 2003).

Biogás: Es una mezcla de gases producida por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Su composición principal es metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de otros gases como nitrógeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno. El metano es el componente combustible del biogás (Angelidaki et al., 2009).

Biomasa: Se refiere a cualquier material orgánico de origen vegetal o animal, incluyendo residuos agrícolas, forestales, industriales y urbanos, que puede utilizarse como fuente de energía o como materia prima para la producción de otros productos (Sánchez, 2008).

Anaerobio: Un proceso anaeróbico es aquel que ocurre en ausencia de oxígeno. Los microorganismos anaeróbicos son capaces de descomponer la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás (Madigan et al., 2000).

Digestión anaeróbica: Es un proceso biológico complejo en el cual microorganismos especializados descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y biofertilizante. Este proceso se divide en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Lettinga, 1995).

Biofertilizante: Es un fertilizante orgánico obtenido a partir del efluente líquido de un biodigestor. Es rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, y puede utilizarse para mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas (Romero et al., 2012).

Sostenibilidad: Se refiere al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones¹ para satisfacer las suyas propias.² Implica un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social (WCED, 1987).

II.1.5 Formulación de Sistema de hipótesis

La investigación se centra en la implementación de un sistema biodigestor como estrategia para el desarrollo sustentable. En este contexto, se entiende como un proceso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, abarcando dimensiones económicas, sociales y ambientales (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987). Los biodigestores, por su parte, son sistemas que permiten la descomposición anaeróbica de materia orgánica, generando biogás (fuente de energía renovable) y bioabono (fertilizante orgánico), ofreciendo así una alternativa para el manejo de residuos y la producción de energía limpia (Quintero, 2020).

En el contexto de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte, Estado Cojedes", y habiendo formulado las hipótesis de investigación (o hipótesis alternativas), es necesario establecer las hipótesis nulas correspondientes. La hipótesis nula (H_0) representa la afirmación que se busca refutar, generalmente planteando la ausencia de un efecto o relación entre las variables. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) o hipótesis de investigación, como ya se formuló previamente, afirma la existencia de dicho efecto o relación.

A continuación, se presentan las hipótesis nulas y alternativas correspondientes a cada una de las hipótesis específicas planteadas anteriormente:

Hipótesis Específica 1 (Impacto Ambiental):

Hipótesis Nula (H_{01}): La implementación del sistema biodigestor no reducirá significativamente la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de residuos orgánicos en la Finca Centenera.

Hipótesis Alternativa (H_{11}): La implementación del sistema biodigestor reducirá significativamente la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de residuos orgánicos en la Finca Centenera.

Hipótesis Específica 2 (Impacto Económico):

Hipótesis Nula (H_{02}): La implementación del sistema biodigestor no generará un ahorro económico significativo para la Finca Centenera a través de la sustitución de combustibles fósiles por biogás y la reducción en la compra de fertilizantes químicos mediante el uso de bioabono.

Hipótesis Alternativa (H_{12}): La implementación del sistema biodigestor generará un ahorro económico significativo para la Finca Centenera a través de la sustitución de combustibles fósiles por biogás y la reducción en la compra de fertilizantes químicos mediante el uso de bioabono.

Hipótesis Específica 3 (Impacto Social):

Hipótesis Nula (H_{03}): La implementación del sistema biodigestor no mejorará significativamente las condiciones de vida de los trabajadores y la comunidad aledaña a la Finca Centenera a través de la reducción de la contaminación y la creación de nuevas oportunidades de empleo y capacitación.

Hipótesis Alternativa (H_{13}): La implementación del sistema biodigestor mejorará significativamente las condiciones de vida de los trabajadores y la comunidad aledaña a la Finca Centenera a través de la reducción de la contaminación y la creación de nuevas oportunidades de empleo y capacitación.

II.1.6 Formulación de Sistema de variables

La formulación de un sistema de variables es fundamental para cualquier investigación, ya que permite identificar y cuantificar los factores que influyen en el fenómeno estudiado. En este caso, se busca evaluar la factibilidad de implementar un biodigestor en la Finca Centenera. Por lo tanto, las variables a considerar deben abarcar aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales relacionados con la producción animal, la generación de biogás y el contexto específico de la finca.

Tabla N° 7. Sistema de Variables

Objetivo General	Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores	Ítem
Proponer un sistema de biodigestor para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte, Estado Cojedes.	Independiente	Son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable. (Solano, Vargas, y Guillen, 2010).	Impacto Ambiental	Conocimiento	1, 2, 3
	Sistema Biodigestor			Percepción	4, 5, 6
				Funcionamiento	7, 8
				Eficiencia	9, 10
				Energética	
	Dependiente	Constituye un concepto multidimensional que involucra, como mínimo, dimensiones económicas, sociales y ambientales. Es decir, se trata de una idea amplia y compleja, que desborda el constructo teórico tradicional de las ciencia (Ramírez, Sánchez, & García, (2004).	Sustentabilidad	Reducción de Emisiones	11, 12
	Desarrollo Sustentable			Crecimiento Económico	13, 14
				Ambiente	15, 16
				Gestión de Residuos	17, 18

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

CAPÍTULO III

III.1 MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico que se presenta a continuación establece las bases para la investigación sobre la implementación de un sistema de biodigestión en la Finca Centenera. Este enfoque, predominantemente cuantitativo, permitirá obtener datos numéricos y objetivos que sustenten las conclusiones del estudio.

III.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación propone un sistema de biodigestión para la Finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes. Este estudio se enmarca dentro de una investigación de campo, la cual, según Palella y Martins (2010), consiste en la recolección directa de datos en el contexto real donde ocurren los fenómenos, sin manipular las variables. Esto permite estudiar los eventos sociales en su entorno natural, preservando así la autenticidad de los procesos investigados.

La investigación se desarrollará íntegramente en el entorno donde se produce el fenómeno a estudiar. Esto implica que tanto la recolección de datos como su análisis se realizan directamente en la Finca Centenera, de tal manera que, permita una inmersión profunda en el contexto real y una comprensión más detallada de las dinámicas locales.

III.1.2 Descripción de la metodología

La presente investigación, enfocada en la propuesta de un sistema de biodigestión para la Finca Centenera, se sustenta en una metodología de campo No experimental, descriptiva y enmarcada en un proyecto factible. Esta combinación de enfoques permite abordar de manera integral y rigurosa la problemática de la gestión de residuos orgánicos en la finca y la búsqueda de alternativas sostenibles para su aprovechamiento.

III.1.2.1 Investigación de Campo

La investigación de campo se caracteriza por la recolección de datos directamente en el contexto real donde ocurre el fenómeno de estudio. En este caso, la finca Centenera se convierte en el escenario principal donde se llevarán a cabo todas las actividades de investigación. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), este tipo de investigación permite obtener información más rica y detallada, ya que el investigador puede observar los fenómenos en su entorno natural y establecer relaciones causales entre las variables. En el contexto de este estudio, la investigación de campo permitirá:

Observar las prácticas de manejo: Se realizarán observaciones directas de las actividades diarias en la finca, como la gestión de los residuos orgánicos, la alimentación del ganado y el uso de los recursos hídricos.

Realizar encuestas a los actores clave: Se aplicará encuesta en la modalidad de cuestionario a los productores, técnicos y trabajadores de la finca para conocer sus percepciones, necesidades y expectativas en relación con la implementación de un sistema de biodigestión.

Recopilar datos cuantitativos: Se medirán variables como la cantidad de estiércol generado, la producción de biogás, la calidad del biofertilizante y el consumo energético de la finca.

III.1.2.2 Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva tiene como objetivo describir las características de un fenómeno tal como se presenta en un momento dado. En este estudio, se describirán las características de la Finca Centenera, como el tipo de ganado, la producción de estiércol, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo actuales. Además, se describirán las características técnicas del biodigestor propuesto, como su capacidad, eficiencia y costos. Como lo define Hernández-Sampieri (2014), la investigación descriptiva busca “especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se

someta a un análisis” (p. 92). Esta metodología permitirá obtener una visión detallada de la situación actual y del potencial del biodigestor en la Finca Centenera.

III.1.2.3 Proyecto Factible

Un proyecto factible es aquel que, además de ser viable desde el punto de vista técnico, es también económicamente rentable y socialmente aceptable. Según Baca Urbina (2010), un proyecto factible se define como: "un plan de trabajo que, además de ser técnicamente viable, es económicamente rentable y socialmente aceptable, lo que garantiza su implementación exitosa y sostenible en el tiempo" (p. 25). En este sentido, el proyecto de implementación del biodigestor en la Finca Centenera se evaluará en términos de su viabilidad técnica, económica y social. Se realizará un análisis de costos y beneficios para determinar la rentabilidad del proyecto a largo plazo. Además, se evaluará la aceptación del proyecto por parte de los productores y la comunidad en general.

Por lo tanto, la combinación de estos enfoques metodológicos permitirá obtener una visión integral y detallada del proyecto de implementación del biodigestor en la Finca Centenera. La investigación de campo garantizará una comprensión profunda del contexto real, mientras que el diseño No experimental permitirá evaluar el impacto del biodigestor en variables clave. La investigación descriptiva proporcionará una descripción detallada de la finca y del proyecto, y el enfoque de proyecto factible asegurará que la propuesta sea viable y sostenible a largo plazo.

III.1.3 Descripción de los procedimientos

La investigación titulada "Propuesta de un Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sostenible de la Finca Centenera" se sustentará en una serie de procedimientos metodológicos diseñados para recolectar y analizar datos relevantes que permitan evaluar la factibilidad y el impacto de la implementación de un sistema de biodigestión en la finca.

III.1.3.1 Población y Muestra

La población de estudio está conformada por el conjunto de trabajadores de la Finca Centenera, quienes interactúan directamente con los procesos productivos y tienen conocimiento sobre las prácticas agrícolas y pecuarias. La muestra, por su parte, se compone de los siete (07) trabajadores de la finca, lo cual representa un muestreo no probabilístico por conveniencia, dada la limitada cantidad de personal involucrado en las labores diarias. A este tipo de muestra también se le denomina censal, para Hurtado (1998), consiste: “en las poblaciones pequeñas o finitas no se selecciona muestra alguna para no afectar la validez de los resultados”. (p.77). En vista de que la población es pequeña se tomará toda para el estudio y esta se denomina muestreo censal, López (1998), opina que “la muestra es censal es aquella porción que representa toda la población”. (p.123)

III.1.3.2 Instrumentos de Recolección de Datos

El principal instrumento de recolección de datos será un cuestionario cerrado con preguntas dicotómicas (sí/no), con dieciocho preguntas. Este tipo de cuestionario permitirá obtener información precisa y cuantificable sobre las variables de interés, tales como el conocimiento de los trabajadores sobre los biodigestores, su percepción sobre los beneficios ambientales y económicos de esta tecnología, y su disposición a participar en el proceso de implementación. Además del cuestionario, se emplearán otras técnicas de recolección de datos, como:

Observación directa: Se realizarán observaciones directas de las actividades diarias en la finca, con el fin de identificar las prácticas actuales de manejo de los residuos orgánicos y las condiciones de los corrales y potreros.

Revisión documental: Se revisarán documentos como registros de producción, facturas de insumos y otros registros relevantes para obtener información sobre la cantidad de estiércol generado, los costos de producción y el rendimiento de los cultivos.

III.1.3.3 Procedimiento de Recolección de Datos

El proceso de recolección de datos se llevará a cabo en varias etapas:

Diseño del cuestionario: Se diseñará un cuestionario estructurado con preguntas claras y concisas, que abarquen los aspectos relevantes para la investigación en correspondencia con la tabla de variables.

Aplicación del cuestionario: El cuestionario se aplicará de manera individual a cada uno de los trabajadores de la finca, en un ambiente tranquilo y propicio para la entrevista.

Observación directa: Se realizarán visitas a la finca para observar las actividades diarias y tomar notas de campo.

Revisión documental: Se solicitará a los responsables de la finca los documentos necesarios para la recolección de datos cuantitativos.

III.1.3.4 Validez y Confiabilidad

Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, se tomaron las siguientes medidas:

Validez de contenido: El cuestionario fue revisado por expertos para asegurar que las preguntas miden lo que se pretende medir, al respecto Sabino (2008), define la validez como “El juicio de valor en la cual se puede tener diferentes tipos de evidencias tales como: evidencia relacionada con el contenido, evidencia relacionada con el criterio y evidencia relacionada con el constructo” (p.105). A fin de establecer la validez del instrumento, se sometió un ejemplar del cuestionario a la consideración de tres profesionales con experticia en el área de estudio y metodología. Dicho procedimiento facilitó la detección y corrección de ambigüedades tanto formales como de contenido, confiriendo al instrumento validación metodológica, de contenido, de estilo y redacción.

Confiabilidad: Según Egg, (2002), el término confiabilidad “se refiere a la exactitud con que un instrumento mide lo que pretende medir”. Para el cálculo de la confiabilidad se procedió a aplicar los pasos para determinar el Coeficiente de Kuder-Richarsond (KR20), el cual corresponde debido a que el instrumento está conformado por preguntas con dos opciones de respuestas o dicotómicas: SI/NO. Para el KR20, la misma lógica se adopta en el nivel de los ítems. Es lo que se denomina unidimensional. El KR20 se aplica en la caja dicotómica de ítems y se calcula con la siguiente ecuación:

$$KR20 = \left(\frac{n}{n-1} \right) \frac{\sigma_t^2 - \sum p_i q_i}{\sigma_t^2}$$

σ_t^2 = variación de las 20 cuentas de la prueba.

N = a un número total de ítems en la prueba

p_i = es la proporción de respuestas correctas al ítem I.

Índice de inteligencia = proporción de respuestas incorrectas al ítem I.

El procedimiento consistió en aplicar una prueba piloto, según Malhotra (2004: 2), “es la aplicación del cuestionario a una muestra pequeña de encuestados para identificar y eliminar los posibles problemas en la elaboración del mismo”. Se aplicó a siete (07) sujetos con características similares a los de la muestra y se calculó el KR20, procesando los datos mediante una hoja de cálculo del programa Excel de Windows 2010. Se obtuvo como resultado $KR20=0,91$, este coeficiente es altamente confiable.

CAPÍTULO IV

IV.1. ASPECTO ADMINISTRATIVO

IV.1.2. Diagnóstico que sustenta la propuesta

El diagnóstico que sustenta la propuesta de un sistema biodigestor para la Finca Centenera, ubicada en el municipio Ricaurte del estado Cojedes, Venezuela, emerge de un exhaustivo análisis realizado por estudiantes de Ingeniería en Producción Animal de la UNELLEZ. Estos investigadores, motivados por el potencial de la finca y comprometidos con el desarrollo sustentable, han efectuado múltiples visitas al sitio de estudio, estableciendo un valioso vínculo con los trabajadores. Este acercamiento, además de comprender la dinámica operativa de la finca, también generó un ambiente de receptividad hacia la propuesta, elemento crucial para el éxito de cualquier proyecto de esta naturaleza. En consecuencia, se aplicó un instrumento de recolección de datos a los 7 trabajadores de la finca, consistente en 18 preguntas dicotómicas, con el fin de obtener información precisa sobre las necesidades y problemáticas relacionadas con el manejo de residuos orgánicos y la búsqueda de alternativas energéticas.

En primer lugar, es importante destacar el creciente interés global por las tecnologías de biogás como una solución viable para el manejo de residuos y la producción de energía renovable. Al respecto, varios autores han resaltado los beneficios ambientales y económicos de los biodigestores. Por ejemplo, según De Baere (2006), "la digestión anaeróbica es una tecnología clave para el tratamiento de residuos orgánicos, ya que reduce la contaminación y produce biogás, una fuente de energía limpia". Asimismo, la FAO (2013) en su "Manual de biogás" enfatiza el potencial de esta tecnología para mejorar la calidad de vida en zonas rurales, al proporcionar acceso a energía y fertilizantes orgánicos. Por otro lado, la problemática del manejo de residuos orgánicos en las fincas agrícolas es una realidad que impacta negativamente el ambiente y la salud. La acumulación de estiércol y otros desechos genera malos olores, proliferación de vectores y contaminación de suelos y aguas.

Además, los resultados obtenidos a través del instrumento aplicado a los trabajadores de la Finca Centenera revelaron una clara necesidad de implementar un sistema eficiente para el tratamiento de los residuos generados por la actividad pecuaria. Los datos evidenciaron la preocupación por la gestión actual de los desechos y el interés en explorar alternativas que permitan aprovechar estos recursos de manera sostenible. Igualmente, se observó una apertura hacia la adopción de nuevas tecnologías que contribuyan a mejorar la productividad y reducir el impacto ambiental de la finca. En este sentido, la propuesta de un sistema biodigestor se presenta como una solución integral que aborda diversas problemáticas. Tal como señalan Morales y Mejía (2015) en su evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua-musílogo de café, este tipo de sistemas no solo permite el tratamiento de residuos, sino que también genera biogás, una fuente de energía renovable que puede ser utilizada para diversas actividades dentro de la finca, como la generación de electricidad o calor.

Finalmente, el diagnóstico realizado por los investigadores de la UNELLEZ, a través de las visitas a la Finca Centenera y la aplicación del instrumento a los trabajadores, sumado a la revisión bibliográfica de autores expertos en la materia, sustenta sólidamente la pertinencia y viabilidad de la propuesta titulada: “Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte Estado Cojedes”, cuyo objetivo general es “Proponer un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte Estado Cojedes”. La información recabada permite comprender la necesidad de implementar un sistema de gestión de residuos eficiente y sostenible, que contribuya a mejorar las condiciones ambientales, económicas y sociales de la finca.

IV.1.2. Análisis de los resultados del diagnóstico

El análisis de los resultados del diagnóstico, en el contexto de la propuesta del biodigestor para la Finca Centenera, implica un proceso de interpretación y evaluación de la información recopilada durante la fase de diagnóstico. Este análisis

se centra en comprender las causas subyacentes de las problemáticas identificadas en la finca, específicamente aquellas relacionadas con el manejo de residuos orgánicos y la necesidad de fuentes de energía alternativas. Se examinan los datos obtenidos a través de las visitas a la finca, las entrevistas con los trabajadores y, fundamentalmente, las respuestas al instrumento de 18 preguntas dicotómicas. El objetivo principal es extraer conclusiones significativas que justifiquen la implementación de la propuesta del biodigestor. Este proceso no solo se limita a la descripción de los datos, sino que busca establecer relaciones causales, identificar patrones y tendencias, y contrastar la información obtenida en campo con la literatura científica existente.

En este sentido, el análisis de los resultados del diagnóstico permite transformar los datos brutos en información útil para la toma de decisiones. Por ejemplo, al analizar las respuestas al instrumento, se busca determinar el grado de conocimiento de los trabajadores sobre tecnologías de biogás, su percepción sobre el manejo actual de los residuos, y su disposición a adoptar nuevas prácticas. Asimismo, se evalúa la cantidad y tipo de residuos orgánicos generados en la finca, lo cual es crucial para dimensionar el biodigestor y estimar su potencial de producción de biogás. Este análisis también considera el contexto socioeconómico y ambiental de la finca, buscando identificar oportunidades y limitaciones para la implementación del proyecto. En definitiva, el análisis de los resultados del diagnóstico proporciona la base sólida para sustentar la viabilidad y pertinencia de la propuesta del biodigestor como una solución integral para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera.

Tabla N° 8. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Conocimiento

Ítem 1 ¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?

Ítem 2 ¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?

Ítem 3 ¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
1	4	19%	3	14%	7	33,33%
2	4	19%	3	14%	7	33,33%
3	2	10%	5	24%	7	33,33%
		48%		52%		100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el marco de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte Estado Cojedes", se analizó el conocimiento sobre biodigestores del personal de la finca, considerando la importancia de la dimensión de Impacto Ambiental. El conocimiento, como indicador clave, se evaluó mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a todo el personal. Los resultados revelaron un panorama mixto. En primer lugar, con respecto al conocimiento básico del término, el 19% del personal (representado por 4 encuestados) afirmó haber escuchado la palabra "biodigestor", mientras que el 14% (3 encuestados) no la conocía. Este hallazgo inicial sugiere una familiaridad parcial con el concepto, lo cual es un punto de partida relevante para la propuesta. Sin embargo, como señalan varios autores, el simple conocimiento del término no implica necesariamente una comprensión profunda de su significado y aplicaciones, como lo expone (Moreno, 2020) “el saber no ocupa lugar si no va acompañado de la práctica”.

Además, al indagar sobre la función de un biodigestor en el tratamiento de residuos orgánicos, se obtuvo una distribución similar: nuevamente, el 19% respondió afirmativamente, mientras que el 14% lo desconoce. Este resultado refuerza la necesidad de una intervención educativa y de capacitación que profundice en los beneficios ambientales y prácticos de esta tecnología. En este sentido, es crucial destacar que los biodigestores representan una alternativa viable para el manejo sostenible de residuos orgánicos, transformándolos en biogás y biofertilizantes, tal como lo definen (De Wilde et al., 2019) como “una tecnología que permite la estabilización de la materia orgánica biodegradable bajo condiciones anaerobias, generando biogás y un efluente líquido o lodo digerido que puede ser utilizado como biofertilizante”. El aprovechamiento de estos recursos contribuye a la reducción de la contaminación y a la generación de energía renovable, aspectos cruciales para el desarrollo sustentable.

Finalmente, al evaluar la comprensión del funcionamiento de un biodigestor, se observó una disminución en las respuestas afirmativas, con solo un 10% del personal

(2 encuestados) considerando tener alguna idea al respecto, frente a un 24% (5 encuestados) que manifestó no tener conocimiento sobre su funcionamiento. Este dato subraya la necesidad de un programa de capacitación integral que abarque desde los conceptos básicos hasta los aspectos técnicos de la operación y mantenimiento de un sistema biodigestor. En efecto, como señalan (Abbasi et al., 2012) “la correcta operación de un biodigestor es fundamental para garantizar su eficiencia y la obtención de los beneficios esperados”. De esta manera, la propuesta de implementación de un sistema biodigestor en la Finca Centenera debe ir acompañada de un plan de formación que empodere al personal y asegure la sustentabilidad del proyecto a largo plazo.

Tabla N° 9. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Percepción

Ítem 4 ¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?

Ítem 5 ¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?

Ítem 6 ¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
4	5	24%	2	10%	7	33,33%
5	6	29%	1	5%	7	33,33%
6	6	29%	1	5%	7	33,33%
		81%			19%	100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el contexto del estudio "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se evaluó la percepción del personal de la finca respecto a los posibles beneficios de la implementación de un biodigestor, enfocándose en la dimensión de Impacto Ambiental y el indicador de Percepción. A través de un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a todo el personal, se exploraron sus opiniones sobre la reducción de malos olores, el ahorro económico y el impacto ambiental positivo. Los resultados revelaron una percepción

mayoritariamente favorable hacia la tecnología. En primer lugar, con respecto a la reducción de malos olores, el 24% del personal (5 encuestados) cree que un biodigestor podría contribuir a mitigar este problema. Esta percepción se alinea con la función principal de los biodigestores, que, según (Forster et al., 2018), “consiste en la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, proceso que reduce significativamente la emisión de olores desagradables”. Por lo tanto, la implementación de un biodigestor se presenta como una solución viable para mejorar las condiciones ambientales en la finca.

Por otra parte, al indagar sobre el potencial de ahorro económico que podría generar un biodigestor, el 29% del personal (6 encuestados) expresó una opinión positiva. Esta percepción es fundamental, ya que el ahorro económico representa un incentivo importante para la adopción de nuevas tecnologías. En este sentido, es importante destacar que los biodigestores pueden generar ahorros a través de la producción de biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía, y de biofertilizantes, que pueden sustituir a los fertilizantes químicos convencionales, tal como lo señalan (Möller & Müller, 2012) “el biogás producido en los biodigestores puede ser utilizado para la generación de calor y electricidad, mientras que el digesto puede ser empleado como fertilizante orgánico, reduciendo la dependencia de insumos externos”. De esta manera, la implementación de un biodigestor no solo representa una mejora ambiental, sino también una oportunidad de optimización económica.

Del mismo modo, la percepción sobre el impacto ambiental positivo de los biodigestores fue también muy favorable, con un 29% del personal (6 encuestados) manifestando su acuerdo. Esta alta valoración del impacto ambiental refuerza la pertinencia de la propuesta de implementación. En efecto, los biodigestores contribuyen a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el metano, y al promover el uso de energías renovables, como lo definen (Rajendran et al., 2012) “la digestión anaeróbica es una tecnología clave para la producción de biogás, una fuente de energía renovable que puede

contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la diversificación de la matriz energética”. En definitiva, la percepción positiva del personal de la Finca Centenera respecto a los beneficios ambientales y económicos de los biodigestores representa un factor clave para el éxito de la propuesta de implementación.

Tabla N° 10. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Funcionamiento
Ítem 7 ¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?
Ítem 8 ¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
7	7	50%	0	0%	7	50,00%
8	7	50%	0	0%	7	50,00%
				100%	0%	100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Dentro del marco de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se evaluó la disposición del personal hacia el aprendizaje sobre el funcionamiento de biodigestores y su percepción sobre los beneficios de su implementación en la finca. Este análisis se centra en la dimensión de Impacto Ambiental, específicamente en el indicador de Funcionamiento. Se aplicó un instrumento dicotómico (Sí/No) a todo el personal de la finca, cuyos resultados revelaron un alto grado de receptividad hacia la propuesta. En primer lugar, la totalidad del personal encuestado (7 personas, representando el 50%) manifestó su disposición a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor. Este resultado es sumamente positivo, ya que el conocimiento del personal sobre la tecnología es crucial para su correcta operación y el aprovechamiento de sus beneficios. En este sentido, la capacitación continua es fundamental para asegurar el éxito de cualquier proyecto de implementación de biodigestores. Como afirman

(Weiland, 2010), "la formación del personal en la operación y mantenimiento de los sistemas de biogás es un factor determinante para su sostenibilidad a largo plazo".

Asimismo, la totalidad del personal encuestado (nuevamente 7 personas, representando el 50%) consideró beneficiosa la implementación de un sistema de biodigestor para la finca. Esta percepción unánime refuerza la viabilidad y la pertinencia de la propuesta. La creencia en los beneficios de la tecnología genera un ambiente favorable para su adopción y facilita la participación activa del personal en su implementación y posterior manejo. Los beneficios de los biodigestores son múltiples, incluyendo la reducción de la contaminación, la generación de energía renovable y la producción de biofertilizantes, tal como lo describen (Arthurson, 2009) como "una tecnología que ofrece soluciones integrales para el tratamiento de residuos orgánicos, la producción de energía limpia y la obtención de fertilizantes orgánicos de alta calidad". Por lo tanto, la alta receptividad del personal hacia el aprendizaje y la percepción positiva sobre los beneficios del biodigestor auguran un panorama favorable para la implementación exitosa del sistema en la Finca Centenera.

Tabla N° 11. Dimensión: Impacto Ambiental. Indicador: Eficiencia Energética
Ítem 9 ¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?
Ítem 10 ¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
9	7	50%	0	0%	7	50,00%
10	7	50%	0	0%	7	50,00%
		100%			0%	100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el desarrollo de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se analizó la comprensión del personal sobre la eficiencia energética que ofrece un biodigestor, un aspecto crucial dentro de la dimensión de Impacto Ambiental. Específicamente, se evaluó el indicador de Eficiencia Energética mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a la

totalidad del personal de la finca. Los resultados obtenidos evidenciaron un entendimiento pleno por parte del personal en relación con la capacidad de los biodigestores para generar biogás a partir de la descomposición de materia orgánica. De hecho, el 50% de los encuestados (7 personas) respondió afirmativamente a la pregunta sobre si entendían que un biodigestor utiliza este proceso para generar biogás. Este resultado es de gran importancia, ya que demuestra que el personal comprende el principio fundamental del funcionamiento de un biodigestor en términos de producción de energía. En este sentido, es crucial recordar que, según (Scarlat et al., 2018), "la digestión anaeróbica es un proceso biológico que descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo biogás, 1 una mezcla de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), que puede ser utilizada como fuente de energía renovable".

Por otro lado, la totalidad del personal (7 personas, representando también el 50%) demostró comprender que un biodigestor puede generar tanto biogás como fertilizante biológico. Este hallazgo subraya la comprensión integral que tiene el personal sobre las múltiples ventajas que ofrece esta tecnología. No solo se entiende la generación de energía, sino también el aprovechamiento de los subproductos del proceso, lo que maximiza la eficiencia y la sostenibilidad del sistema. En concordancia con esto, (Abbasi et al., 2012) señalan que "además de biogás, la digestión anaeróbica produce un efluente rico en nutrientes que puede ser utilizado como biofertilizante, cerrando el ciclo de la materia orgánica y reduciendo la necesidad de fertilizantes químicos". En consecuencia, la plena comprensión del personal sobre la generación dual de biogás y biofertilizante refuerza la viabilidad y el potencial de la propuesta de implementación del sistema biodigestor en la Finca Centenera, al tiempo que destaca su compromiso con prácticas sustentables y eficientes.

Tabla N° 12. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Reducción de Emisiones
Ítem 11 ¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?

Ítem 12 ¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?

Nº Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
11	6	43%	1	7%	7	50,00%
12	6	43%	1	7%	7	50,00%
		86%			14%	100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el marco de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se examinó la percepción del personal en relación con la reducción de emisiones, un aspecto fundamental dentro de la dimensión de Sustentabilidad. Concretamente, se evaluó el indicador de Reducción de Emisiones mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a la totalidad del personal de la finca. Los resultados obtenidos revelaron una notable percepción sobre el potencial de los biodigestores para mitigar la presencia de moscas y otros insectos. Específicamente, el 43% de los encuestados (6 personas) consideró que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de estas plagas. Esta percepción se fundamenta en el hecho de que la digestión anaeróbica, proceso central en el funcionamiento de los biodigestores, reduce significativamente la cantidad de materia orgánica disponible para la proliferación de insectos. En otras palabras, al transformar los residuos orgánicos en biogás y biofertilizante, se disminuye la atracción de moscas y otros vectores. En este sentido, diversos estudios, como el de (Martínez et al., 2017), han demostrado que "la digestión anaeróbica reduce la viabilidad de huevos y larvas de insectos presentes en los residuos orgánicos, contribuyendo al control de plagas".

Por otra parte, un porcentaje similar del personal (43%, equivalente a 6 personas) opinó que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos. Esta aseveración se alinea con uno de los principales beneficios de los biodigestores: la producción de biofertilizantes, un subproducto rico en nutrientes que puede sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes químicos convencionales. De esta forma, se disminuye la dependencia de insumos externos y

se promueve un sistema de producción más sostenible y amigable con el medio ambiente. En efecto, tal como afirman (Chávez Galavíz, 2020) “El uso de biofertilizantes en cultivos básicos ha dado resultados satisfactorios en muchas regiones tropicales, siendo un excelente abono orgánico”. Adicionalmente, la reducción en el uso de fertilizantes químicos implica una disminución en la contaminación del suelo y del agua, contribuyendo a la salud del ecosistema. En consecuencia, la percepción positiva del personal con respecto a la reducción de emisiones, tanto de vectores como de contaminantes químicos, fortalece la justificación de la implementación del sistema biodigestor en la Finca Centenera.

Tabla N° 13. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Crecimiento Económico
Ítem 13 ¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?

Ítem 14 ¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
13	7	50%	0	0%	7	50,00%
14	6	43%	1	7%	7	50,00%
		93%		7%		100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el contexto de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se analizó la percepción del personal en relación con el crecimiento económico derivado de la implementación de un biodigestor, un aspecto crucial dentro de la dimensión de Sustentabilidad. Para ello, se evaluó el indicador de Crecimiento Económico mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a la totalidad del personal de la finca. Los resultados obtenidos revelaron una fuerte convicción sobre el potencial de los biodigestores para generar ingresos adicionales a través de la producción de fertilizante orgánico. En efecto, el 50% de los encuestados (7 personas) consideró que la producción de este subproducto podría representar una fuente de ingresos extra.

Esta percepción se basa en el creciente interés por los productos orgánicos y la demanda de fertilizantes biológicos en el mercado agrícola. Como señalan (FAO, 2017) en su informe "El estado mundial de la agricultura y la alimentación", "la agricultura orgánica está experimentando un crecimiento constante a nivel mundial, impulsado por la demanda de los consumidores de alimentos más saludables y producidos de forma sostenible". Por consiguiente, la producción y comercialización de biofertilizantes a partir del biodigestor se presenta como una oportunidad viable para diversificar las fuentes de ingresos de la finca y fortalecer su posición en el mercado.

Por otro lado, una gran mayoría del personal, específicamente el 43% (6 personas), piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos. Esta afirmación se fundamenta en la capacidad del biodigestor para transformar los residuos orgánicos en recursos valiosos, evitando así los costos asociados a su disposición y tratamiento externo. En otras palabras, al procesar internamente los residuos, la finca puede evitar gastos en transporte, vertederos o incineración. Además, la autogestión de los residuos contribuye a la economía circular dentro de la finca, optimizando el uso de los recursos y reduciendo la dependencia de insumos externos.

En este sentido, (Geosoluciones de Ingeniería) en su artículo "Biodigestores para el sector agropecuario", afirman que "la conversión de desechos en biogás proporciona una fuente de energía renovable que puede sustituir el uso de combustibles fósiles en la finca, reduciendo así los costos asociados a la compra de energía externa". En consecuencia, la percepción mayoritaria del personal sobre la reducción de gastos en la gestión de residuos refuerza la viabilidad económica de la implementación del sistema biodigestor en la Finca Centenera, al tiempo que destaca su potencial para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción.

Tabla N° 14. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Ambiente

Ítem 15 ¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?

Ítem 16 ¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?

Nº Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
15	7	50%	0	0%	7	50,00%
16	7	50%	0	0%	7	50,00%
		100%		0%		100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el contexto de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se exploró la percepción del personal en relación con la mejora del ambiente, un pilar fundamental de la dimensión de Sustentabilidad. Para ello, se evaluó el indicador de Ambiente mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a la totalidad del personal de la finca. Los resultados obtenidos revelaron una convicción unánime sobre el potencial de los biodigestores para mejorar la imagen de la finca ante la comunidad. En efecto, el 50% de los encuestados (7 personas) consideró que la implementación de un biodigestor podría tener un impacto positivo en la percepción que la comunidad tiene de la finca. Esta percepción se basa en la asociación que se hace entre la implementación de tecnologías limpias y sostenibles con una gestión responsable y comprometida con el medio ambiente.

En otras palabras, la adopción de un biodigestor puede proyectar una imagen de modernización, innovación y compromiso con la sustentabilidad, lo cual puede generar confianza y aceptación por parte de la comunidad. En este sentido, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en su publicación "La biomasa para la energía: directrices para la sostenibilidad" (FAO, 2010), destaca que "la promoción de tecnologías de biomasa, como los biodigestores, puede contribuir a mejorar la imagen de las actividades agrícolas y ganaderas, mostrando su compromiso con la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible".

De igual manera, la totalidad del personal encuestado (nuevamente 7 personas, representando el 50%) consideró que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca. Esta percepción se fundamenta en la capacidad del biodigestor para reducir la acumulación de residuos orgánicos, principales focos de proliferación de vectores y malos olores. Al transformar estos residuos en biogás y biofertilizante, se disminuye la presencia de moscas, roedores y otros animales que pueden transmitir enfermedades, mejorando así las condiciones sanitarias en la finca.

Adicionalmente, la reducción de malos olores contribuye a un ambiente de trabajo más saludable y confortable para el personal. En consecuencia, la percepción unánime del personal sobre la mejora de las condiciones de higiene y la imagen de la finca ante la comunidad refuerza la viabilidad y la pertinencia de la implementación del sistema biodigestor, consolidando su papel como una herramienta clave para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera.

Tabla N° 15. Dimensión: Sustentabilidad. Indicador: Gestión de Residuos
Ítem 17 ¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?
Ítem 18 ¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?

N° Ítem	SI	%	NO	%	Total Personas Encuestadas	Total Porcentaje
17	7	50%	0	0%	7	50,00%
18	7	50%	0	0%	7	50,00%
100%				0%		100%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

En el marco de la investigación "Propuesta de Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se examinó la percepción del personal en relación con la gestión de residuos, un elemento crucial dentro de la dimensión de Sustentabilidad. Para ello, se evaluó el indicador de Gestión de Residuos mediante un instrumento dicotómico (Sí/No) aplicado a la totalidad del personal de la finca. Los

resultados revelaron una total aceptación sobre la capacidad del biodigestor para facilitar el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca.

En efecto, el 50% de los encuestados (7 personas) cree firmemente que el biodigestor simplificaría considerablemente el manejo de estos residuos. Esta percepción se basa en el principio fundamental de la digestión anaeróbica, que convierte la materia orgánica en biogás y biofertilizante, reduciendo drásticamente el volumen de residuos y transformándolos en productos útiles. De esta manera, se evita la acumulación de residuos, se minimizan los riesgos sanitarios y se simplifican las tareas de gestión. En consonancia con esto, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2021) define la digestión anaeróbica como "un proceso que estabiliza los residuos orgánicos, reduciendo su volumen y olor, y generando biogás, una fuente de energía renovable". En consecuencia, la unanimidad en la percepción del personal sobre la facilidad en el manejo de residuos que ofrece el biodigestor respalda fuertemente su implementación en la Finca Centenera.

Adicionalmente, y en perfecta sintonía con lo anterior, la totalidad del personal encuestado (nuevamente 7 personas, representando el 50%) considera que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca. Esta percepción denota una comprensión clara del potencial de valorización de residuos que ofrece esta tecnología. Lejos de ser un problema, los residuos orgánicos se transforman en una oportunidad para generar biogás, una fuente de energía renovable que puede ser utilizada para diversas aplicaciones en la finca, y biofertilizante, un abono orgánico de alta calidad que puede mejorar la productividad de los cultivos.

Esta transformación de residuos en recursos se alinea con los principios de la economía circular y la gestión sostenible de recursos. De hecho, varios autores, como (Bridgwater, 2012) en su trabajo sobre biomasa para energía, señalan que "la digestión anaeróbica representa una vía efectiva para convertir residuos orgánicos en biocarburantes y biofertilizantes, contribuyendo a la seguridad energética y a la sostenibilidad agrícola". Por lo tanto, la convicción unánime del personal sobre la capacidad del biodigestor para convertir residuos en recursos útiles consolida aún más

su viabilidad y su potencial para generar beneficios ambientales y económicos en la Finca Centenera.

CAPÍTULO V

V.1. La propuesta

V.1.1. Presentación

Como estudiantes de Ingeniería en Producción Animal de la UNELLEZ, conscientes de la necesidad de prácticas sustentables en el sector agropecuario, se presenta la propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte, Estado Cojedes". Esta iniciativa surge de la observación de la problemática del manejo de residuos orgánicos en la finca y su potencial impacto ambiental. Por lo tanto, se busca diseñar un sistema biodigestor que permita transformar estos residuos en recursos valiosos, como biogás y biofertilizantes, contribuyendo así a la reducción de la contaminación, la generación de energía renovable y la mejora de la productividad agrícola.

En consecuencia, el enfoque principal de esta propuesta se centra en el diseño de un sistema biodigestor viable, adaptado a las características específicas de la Finca Centenera y su entorno. Asimismo, se pretende que este sistema no solo beneficie a la finca, sino que también pueda tener un impacto positivo en las comunidades aledañas, promoviendo el desarrollo local y la adopción de prácticas agroecológicas. En definitiva, esta propuesta representa un esfuerzo por impulsar una producción animal más sustentable y responsable con el medio ambiente.

V.1.2. Justificación

La presente propuesta, "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera", se justifica por la necesidad de implementar soluciones sustentables en el sector agropecuario, específicamente en la gestión de residuos orgánicos y la generación de energías renovables. Los resultados de la investigación revelaron un alto grado de receptividad por parte del personal de la finca hacia la tecnología de biodigestión, evidenciando una comprensión clara de sus múltiples beneficios, desde la reducción de malos olores y la mejora de las condiciones de higiene, hasta la generación de ingresos adicionales mediante la producción de biofertilizantes. Esta favorable percepción, sumada a la creciente demanda de prácticas agrícolas más amigables con el ambiente, crea un contexto propicio para la implementación exitosa de un sistema biodigestor.

Además, la propuesta se sustenta en la problemática actual relacionada con la gestión de residuos orgánicos en las fincas y su impacto ambiental. La acumulación de estos residuos genera problemas de contaminación, proliferación de vectores y emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, la implementación de un biodigestor se presenta como una alternativa viable para transformar estos residuos en recursos valiosos, contribuyendo a la mitigación del impacto ambiental y a la promoción de un desarrollo más sustentable. Por lo tanto, esta propuesta busca ofrecer una solución integral que beneficie a la Finca Centenera y a las comunidades

aledañas, promoviendo un modelo de producción agropecuaria más eficiente, rentable y respetuoso con el medio ambiente.

V.1.3. Fundamentación

La propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera" se fundamenta en la creciente necesidad de adoptar prácticas agropecuarias sustentables que minimicen el impacto ambiental y maximicen la eficiencia productiva. La gestión inadecuada de residuos orgánicos en las fincas genera diversos problemas, como la contaminación del suelo y del agua, la proliferación de vectores sanitarios y la emisión de gases de efecto invernadero. En este contexto, la biodigestión anaeróbica emerge como una solución integral, transformando residuos en recursos valiosos.

Desde una perspectiva teórica, la propuesta se alinea con los principios del desarrollo sustentable, que busca equilibrar el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental. La biodigestión, al generar biogás como fuente de energía renovable y biofertilizantes como alternativa a los fertilizantes químicos, contribuye a la mitigación del cambio climático y a la mejora de la fertilidad del suelo, promoviendo un sistema productivo más resiliente y respetuoso con el entorno.

De allí pues, la propuesta se basa en el concepto de economía circular, que promueve el aprovechamiento máximo de los recursos y la minimización de los residuos. La biodigestión cierra el ciclo de la materia orgánica al convertir los residuos en productos útiles, reduciendo la dependencia de insumos externos y disminuyendo los costos asociados a la gestión de desechos. Tal como lo define la Ellen MacArthur Foundation (2017, p. 17), "una economía circular es un sistema económico de flujos cerrados de recursos en el que los residuos de uno se convierten en el recurso de otro".

Asimismo, la propuesta se sustenta en la evidencia científica que respalda la eficiencia de la biodigestión anaeróbica en el tratamiento de residuos orgánicos y la

generación de biogás. Numerosos estudios, como los realizados por Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2012), han demostrado que "la digestión anaeróbica es una tecnología efectiva para la reducción de la contaminación orgánica, la producción de energía renovable y la obtención de fertilizantes orgánicos". Esta tecnología se adapta a diversas escalas de producción y tipos de residuos, lo que la convierte en una opción viable para la Finca Centenera.

En fin, la propuesta se justifica por el alto grado de aceptación y comprensión que demostró el personal de la finca hacia la tecnología de biodigestión. La disposición a aprender sobre su funcionamiento y la percepción positiva sobre sus beneficios ambientales y económicos crean un ambiente favorable para su implementación y sustentabilidad a largo plazo. Esta participación activa del personal es crucial para el éxito del proyecto y para la internalización de prácticas más sustentables en la gestión de la finca.

V.1.4. Estructura

La estructura operativa para el desarrollo de la propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera" se centra en la fase de diseño y se articula en las siguientes etapas, con un enfoque en la viabilidad técnica y la participación del personal de la finca:

Fase 1: Recopilación de Información y Diagnóstico

Objetivo: Obtener información detallada sobre la finca, así como evaluar las condiciones del sitio para la instalación del biodigestor.

Actividades:

✓ Caracterización de la finca

La unidad de estudio es la finca Centenera del municipio Ricaurte del Estado Cojedes, posee una extensión de 100 hectáreas, coordenadas: P1 (N: 103600, E: 536500) y P2 (N: 1036500, E: 537000)



Figura Nro. 10. Vista Satelital de la unidad de estudio
Fuente: Google Maps (2025)



Figura Nro. 11. Corrales de encierro de la Finca Centenera
Fuente Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 12. Corrales de encierro de la Finca Centenera
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

- ✓ **Aplicación del cuestionario al personal:** Recopilar información sobre sus conocimientos, percepciones y necesidades relacionadas con el biodigestor.



Figura Nro. 13. Aplicación del Cuestionario
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 14. Aplicación del Cuestionario
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Prototipo del biodigestor.



Figura Nro. 15. Aplicación del Cuestionario
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

✓ **Revisión bibliográfica:** La fase de consultar literatura científica y técnica sobre biodigestores y su aplicación en contextos similares, es fundamental para el desarrollo sólido de la propuesta denominada, sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera. Esta revisión exhaustiva permite comprender el estado del arte de la tecnología, identificar las mejores prácticas, evaluar diferentes diseños y adaptar la propuesta a las condiciones específicas de la finca.

1. Fundamentos de la Digestión Anaeróbica:

Es esencial comprender los principios bioquímicos y microbiológicos que rigen el proceso de digestión anaeróbica. Esta revisión debe abarcar las diferentes etapas de la digestión (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), los factores que influyen en su eficiencia (temperatura, pH, relación carbono/nitrógeno, tiempo de retención hidráulica) y los tipos de microorganismos involucrados. "La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo en el que la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, produciendo biogás, una mezcla de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y un digesto rico en nutrientes que puede ser utilizado como fertilizante" (Weiland, 2010, p. 849).

2. Tipos de Biodigestores y sus Aplicaciones:

Se deben analizar los diferentes tipos de biodigestores existentes (continuos, discontinuos, de flujo pistón, de laguna cubierta, etc.), sus ventajas y desventajas, y su aplicabilidad a diferentes escalas y tipos de residuos. Se debe prestar especial atención a los biodigestores de bajo costo y fácil construcción, que son más adecuados para contextos rurales y con recursos limitados. "Los biodigestores de laguna cubierta son una opción viable para el tratamiento de grandes volúmenes de residuos líquidos, como el estiércol de ganado, ya que son relativamente económicos y fáciles de construir" (Arthurson, 2009, p. 35).

3. Aplicación de Biodigestores en Contextos Similares:

Es crucial revisar estudios de caso y experiencias de implementación de biodigestores en fincas con características similares a la Finca Centenera (clima, tipo de ganado, tamaño, recursos disponibles). Esta revisión permitirá identificar las mejores prácticas, los errores a evitar y las adaptaciones necesarias para el contexto local. "En Latinoamérica, varios países han implementado con éxito programas de biodigestión en zonas rurales, utilizando principalmente estiércol de ganado y residuos agrícolas como materia prima" (Martínez et al., 2018).

4. Aprovechamiento del Biogás y el Biofertilizante:

Se deben investigar las diferentes aplicaciones del biogás (cocina, calefacción, generación de electricidad) y del biofertilizante (aplicación directa en cultivos, compostaje), así como los equipos y tecnologías necesarios para su aprovechamiento eficiente. "El biogás producido en los biodigestores puede ser utilizado para la generación de electricidad mediante el uso de generadores acoplados a motores de combustión interna, lo que representa una alternativa viable para el autoabastecimiento energético de las fincas" (Scarlat et al., 2018, p. 425).

5. Aspectos Ambientales y Socioeconómicos:

Se deben analizar los impactos ambientales de la biodigestión (reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de la contaminación del suelo y del agua) y sus beneficios socioeconómicos (generación de empleo, mejora de la calidad de vida en las zonas rurales). "La implementación de biodigestores contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de metano, un gas con un alto potencial de calentamiento global" (EPA, 2021).

Fase 2: Diseño Conceptual del Biodigestor

El objetivo central de esta fase consiste en la construcción del biodigestor. El diseño planteado, ilustrado en la figura 16, presenta características comunes dentro de este tipo de sistemas. Su naturaleza semi-continua facilita la adición diaria de residuos orgánicos, con una carga relativamente baja en proporción al volumen total contenido. Dicha carga se deposita en la cámara de carga, requiriendo, a su vez, la extracción de un volumen equivalente de efluente líquido desde la cámara de descarga para mantener un volumen constante dentro del sistema, lo cual asegura una producción continua de biogás. Sin embargo, una restricción significativa para su funcionamiento es la disponibilidad de agua, ya que la mezcla de carga debe componerse de una parte de material orgánico por cada cuatro partes de agua, es decir, una proporción 1:4.



Figura Nro. 16. Prototipo del biodigestor.
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

El diseño del biodigestor propuesto contempla el aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de biogás. Se propone la construcción de un biodigestor anaeróbico alternativo utilizando un tanque de polietileno de 170 litros de capacidad y tubería de PVC (Policloruro de Vinilo), según se ilustra en las figuras 17 y 18. La selección de este tipo de biodigestor se basa en las características detalladas en la tabla 17, considerando el volumen de residuos disponibles.



Figura Nro. 17. Tanque de polietileno con capacidad de 170 litros.
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 18. Implementos para el sistema Biodigestor.

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Tabla N° 16. Valoración para selección del prototipo

Ventajas	Desventajas
Generación de biogás: Produce biogás, una fuente de energía renovable que puede ser utilizada para cocinar, calentar agua, generar electricidad a pequeña escala, etc. Producción de biofertilizante: Genera un efluente líquido (bioabono) rico en nutrientes que puede ser utilizado como fertilizante orgánico en la agricultura, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Reducción de residuos orgánicos: Permite el tratamiento y la valorización de residuos orgánicos, disminuyendo su acumulación y los problemas asociados (malos olores, proliferación de vectores). Mejora de las condiciones de higiene: Reduce los malos olores y la presencia de vectores (moscas, roedores) asociados a la descomposición de residuos orgánicos. Baja inversión inicial (en modelos artesanales): Los biodigestores construidos con materiales como tanques de polietileno y tubería de PVC suelen tener un costo relativamente bajo, lo que los hace accesibles para pequeñas fincas o familias.	Menor eficiencia en climas fríos: La producción de biogás es sensible a la temperatura. En climas fríos, la actividad bacteriana se reduce, disminuyendo la producción de biogás. Requiere un suministro constante de materia orgánica: Para un funcionamiento continuo, se necesita un aporte regular de residuos orgánicos. La falta de este suministro puede detener la producción de biogás. Requiere un manejo y mantenimiento adecuados: Es necesario monitorear parámetros como el pH y la temperatura, y realizar un mantenimiento periódico para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y evitar obstrucciones o fugas. Posible generación de olores si no se maneja correctamente: Si el biodigestor no está bien sellado o el biogás no se quema adecuadamente, puede haber escape de olores desagradables, aunque en menor medida que la descomposición al aire libre. Limitaciones en la capacidad de tratamiento: Los biodigestores artesanales tienen una capacidad limitada de tratamiento de residuos, lo que los hace adecuados para pequeñas cantidades de residuos orgánicos.

Fácil construcción e instalación (en modelos artesanales): Su construcción e instalación son relativamente sencillas, lo que permite su autoconstrucción con materiales locales.	Riesgo de fugas de biogás: Si las conexiones no están bien selladas, puede haber fugas de biogás, lo que representa un riesgo de incendio o explosión, aunque este riesgo es bajo en sistemas domésticos bien contruidos.
Contribución a la sustentabilidad: Promueve la autogestión de recursos, la reducción de la dependencia de combustibles fósiles y la disminución del impacto ambiental de las actividades agropecuarias.	Sensibilidad a la composición de los residuos: La eficiencia del biodigestor puede verse afectada por la composición de los residuos orgánicos. Algunos materiales pueden inhibir la actividad bacteriana.
Posibilidad de generar ingresos adicionales: La venta de biofertilizante o el ahorro en costos de energía pueden generar ingresos adicionales para la finca.	Necesidad de capacitación: El personal encargado de operar el biodigestor debe recibir capacitación adecuada sobre su funcionamiento, mantenimiento y medidas de seguridad.
Mejora la imagen de la finca ante la comunidad: Demuestra un compromiso con prácticas sustentables y el cuidado del medio ambiente.	Potencial acumulación de sedimentos: Con el tiempo, pueden acumularse sedimentos en el fondo del biodigestor, lo que reduce su eficiencia. Se requiere una limpieza periódica.

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Al tanque de 170 lts se le realizaron dos agujeros laterales, de media pulgada ($\frac{1}{2}$ ") cada uno (figura 19) y dos en la tapa, uno de $\frac{1}{2}$ " y el otro de 2", (figura 20). Los que están en la tapa, uno será para la entrada del material y el otro para la salida del biogás, mientras que el agujero lateral inferior será para el desagüe natural del biodigestor, al igual que el agujero lateral superior corresponderá a la salida de excesos líquidos, siempre del diámetro de la pieza que lo atraviesa.



Figura Nro. 19. Elaboración de los agujeros laterales.
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 20. Elaboración de los agujeros.
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Tras el ensamblaje individual de cada componente, se procedió a la instalación del dispositivo completo, tal como se ilustra en las figuras 21, y 22, y 23. La puesta en marcha se realizó mediante la adición de biomasa en una proporción de 4 litros de agua por cada kilogramo de materia. Cabe destacar que el tubo de salida para los excesos líquidos del biodigestor funciona como rebosadero, permitiendo la salida del efluente líquido o biol con cada nueva carga añadida al dispositivo.



Figura Nro. 21. Ensamblaje general
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 22. Tubería de carga del dispositivo
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 23. Biodigestor ensamblado.
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Una mezcla homogénea resultante de la combinación de 30 kg de biomasa (estiércol de ganado vacuno) con 120 litros de agua permitió sobrepasar el nivel de la salida de excesos líquidos, según se aprecia en las figuras 24 y 25.



Figura Nro. 24. Biomasa (estiércol de ganado).
Fuente: Ramires y Ramires (2025)



Figura Nro. 25. Mezcla dentro del biodigestor
Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Fase 3: Calculo de los Costos

Objetivo: Estimar los costos de construcción, materiales y equipos.

Tabla N° 17. Presupuesto Ejecución Propuesta Biodigestor

Cantidad	Descripción	Valor unitario Bs	Total	Valor Unitario dólar (49 Bs/\$)
1	Tambor Plástico de 170 Lts	1.995,00	Bs. 1.995,00	\$40,71
3	Codos 90° de 1/2"	90,00	Bs. 270,00	\$5,51
3	Adaptador macho de 1/2"	53,00	Bs. 159,00	\$3,24
3	Adaptador hembra de 1/2"	57,00	Bs. 171,00	\$3,49
1	Llave lisa paso 1/2"	54,00	Bs. 54,00	\$1,10
1	Tubo sanitario 50cm	153,00	Bs. 153,00	\$3,12
1	Tubo plástico de 1/2"	153,00	Bs. 153,00	\$3,12
1	Llave de gas metálica 1/2"	800,00	Bs. 800,00	\$16,33
1	Pega PVC	150,00	Bs. 150,00	\$3,06
1	Pega Tanque	126,00	Bs. 126,00	\$2,57
1	Adaptador Macho de 2" con tapa	299,31	Bs. 299,31	\$6,11
1	Copa 1/2" tubo	100,00	Bs. 100,00	\$2,04
1	Niple 1/2"	80,00	Bs. 80,00	\$1,63
Totales			Bs. 4.510,31	\$92,05

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

V.1.5. Administración

El aspecto administrativo de la propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera" se centra en la gestión y organización del proyecto durante su fase de diseño, garantizando su viabilidad y eficiencia. Se estructura en los siguientes componentes:

1. Estructura Organizativa:

Equipo del Proyecto: Conformado por los estudiantes de Ingeniería en Producción Animal de la UNELLEZ, quienes asumen los roles de:

Coordinador General: Responsable de la planificación, coordinación y supervisión general del proyecto.

Responsable Técnico: Encargado de la recopilación de información técnica, el diseño conceptual y detallado del biodigestor, y la elaboración de manuales.

Responsable de Gestión y Comunicación: A cargo de la gestión administrativa, la comunicación con la finca y la difusión de los resultados.

Contraparte en la Finca: Se designará un responsable por parte de la Finca Centenera para facilitar la comunicación, el acceso a la información y la participación del personal.

Asesoría Externa (Opcional): Se considerará la posibilidad de contar con la asesoría de expertos en biodigestión, energías renovables o gestión de proyectos, según sea necesario.

2. Gestión de Recursos:

Recursos Humanos: Los estudiantes de la UNELLEZ dedicarán tiempo y esfuerzo al desarrollo del proyecto como parte de su formación académica. La participación del personal de la finca será voluntaria y se coordinará con sus actividades laborales.

Recursos Materiales: Se utilizarán recursos disponibles en la UNELLEZ (biblioteca, laboratorios, equipos de cómputo) y en la finca (espacio para reuniones, acceso a información). Se gestionarán los recursos necesarios para la elaboración de planos y la impresión de manuales.

Recursos Financieros: La fase de diseño no requerirá una inversión financiera significativa, ya que se utilizarán recursos disponibles. En caso de requerir recursos adicionales (ej. consultoría externa, materiales específicos), se buscarán fuentes de financiamiento a través de la UNELLEZ o de otras instituciones.

Análisis especializados: una vez que la finca Centenera desee poner en funcionamiento el Biodigestor propuesto, es necesario que considere la elaboración de análisis de laboratorio que puedan confirmar los elementos físico – químicos mínimos para su adecuado funcionamiento, lo que a su vez representa un costo que, a

futuro, debe ser tomado en consideración por los directivos de la finca. Entre los análisis más resaltantes:

Análisis Físicoquímicos y Microbiológicos: Los estudiantes de la UNELLEZ reconocen la importancia de caracterizar la materia prima y el producto del biodigestor. "Los análisis físicoquímicos, como la determinación de la composición elemental, el contenido de sólidos totales y volátiles, y la relación carbono/nitrógeno, son esenciales para optimizar el proceso de digestión anaeróbica", afirman (Rittmann & McCarty, 2020). Además, "los análisis microbiológicos, como el recuento de bacterias metanogénicas y la identificación de microorganismos patógenos, permiten asegurar la eficiencia y seguridad del biodigestor" (American Public Health Association et al., 2017). Estos análisis, realizados en laboratorios especializados, tienen un costo estimado de entre 150 y 300 dólares por muestra, dependiendo de los parámetros a evaluar.

Monitoreo del Proceso de Generación de Metano: Para asegurar la estabilidad y eficiencia del biodigestor, los estudiantes proponen un monitoreo continuo de variables clave. "El análisis de variables como pH, temperatura, humedad y presión, mediante sensores y equipos de medición, permite controlar el proceso de generación de metano y detectar posibles desviaciones", explican. Además, "el análisis cromatográfico de la composición del biogás, mediante cromatografía de gases, permite cuantificar la cantidad y calidad del metano producido" (Speece, 2008). Estos análisis, realizados en laboratorios especializados o con equipos portátiles, tienen un costo estimado de entre 100 y 250 dólares por muestra, dependiendo de la frecuencia y complejidad de los análisis.

Análisis de la Cantidad y Calidad de Gas Metano Producido: Los estudiantes consideran que la evaluación de la producción de biogás es fundamental para determinar la viabilidad económica del proyecto. "El análisis de la cantidad y calidad de gas metano producido, mediante medidores de flujo y analizadores de gases, permite conocer el rendimiento del biodigestor y estimar el potencial energético del biogás", señalan. Estos análisis, realizados en laboratorios especializados o con

equipos portátiles, tienen un costo estimado de entre 100 y 200 dólares por muestra, dependiendo de la frecuencia y complejidad de los análisis.

Parámetros de Laboratorio: Los estudiantes de la UNELLEZ reconocen la importancia de caracterizar la calidad de los residuos y el efluente del biodigestor. "Los análisis de aceites y grasas, DBO5, DQO, nitratos y nitritos, detergentes, sulfatos y coliformes fecales son esenciales para evaluar el potencial contaminante de los residuos y el cumplimiento de la normativa ambiental", afirman (Metcalf & Eddy, 2014). Estos análisis, realizados en laboratorios especializados, tienen un costo estimado de entre 200 y 400 dólares por muestra, dependiendo de los parámetros a evaluar. "La determinación de estos parámetros es crucial para optimizar el proceso de digestión anaeróbica y garantizar la producción de un efluente seguro para su uso como bioabono", enfatizan.

Parámetros in situ: Para asegurar la estabilidad y eficiencia del biodigestor, los estudiantes proponen un monitoreo continuo de parámetros in situ. "La medición de pH, temperatura y conductividad permite controlar el proceso de digestión anaeróbica y detectar posibles desviaciones", explican (Speece, 2008). El pH es un indicador de la actividad bacteriana y la estabilidad del proceso, la temperatura influye en la velocidad de las reacciones bioquímicas, y la conductividad refleja la concentración de sales y la disponibilidad de nutrientes. "El monitoreo de estos parámetros es fundamental para asegurar la producción óptima de biogás y bioabono, y para prevenir la inhibición del proceso por condiciones adversas", concluyen. El costo de los equipos para la medición de estos parámetros oscila entre los 100 y 300 dólares, dependiendo de la precisión y la marca.

3. Plan de Trabajo y Cronograma:

- ✓ Se utilizará el cronograma presentado anteriormente (Octubre 2024 - Febrero 2025) como guía para el desarrollo de las actividades.

- ✓ Se establecerán reuniones periódicas de seguimiento entre el equipo del proyecto y la contraparte en la finca para evaluar el avance y realizar los ajustes necesarios.
- ✓ Se utilizarán herramientas de gestión de proyectos (ej. diagramas de Gantt, hojas de cálculo) para el seguimiento de las actividades y el control del cronograma.

4. Gestión de la Información y Comunicación:

- ✓ Se utilizarán medios electrónicos (correo electrónico, plataformas de almacenamiento en la nube) para el intercambio de información y la comunicación entre los miembros del equipo.
- ✓ Se documentará todo el proceso de diseño en informes técnicos y manuales, que servirán como respaldo y como material de consulta para futuras etapas del proyecto.
- ✓ Se presentarán los resultados del diseño al personal de la finca y a la comunidad académica a través de presentaciones, informes y otros medios de difusión.

5. Aspectos Legales y Regulatorios:

- ✓ Se revisarán las normativas locales, regionales y nacionales relacionadas con la construcción y operación de biodigestores, para asegurar que el diseño cumpla con los requisitos legales.
- ✓ Se gestionarán los permisos y autorizaciones necesarias, en caso de que la fase de diseño lo requiera.

6. Evaluación y Seguimiento:

- ✓ Se realizará una evaluación continua del proyecto a través de reuniones de seguimiento y revisión de los entregables.
- ✓ Se elaborará un informe final que documente todo el proceso de diseño, los resultados obtenidos y las recomendaciones para futuras etapas.

En resumen, el aspecto administrativo de la propuesta se enfoca en una gestión eficiente de los recursos humanos, materiales y de tiempo, una comunicación fluida entre los actores involucrados y el cumplimiento de los aspectos legales y

regulatorios pertinentes. Esta estructura organizativa y de gestión busca asegurar el éxito de la fase de diseño y sentar las bases para la implementación del sistema biodigestor en la Finca Centenera.

V.1.6. Factibilidad

La factibilidad de la propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera" se analiza desde diversas perspectivas, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales.

V.1.6.1 Factibilidad Técnica

En primer lugar, desde el punto de vista técnico, la implementación de un biodigestor en la finca se presenta como factible debido a la disponibilidad de recursos orgánicos, principalmente estiércol del ganado, que constituyen la materia prima esencial para el proceso de digestión anaeróbica. Además, la tecnología de biodigestión es ampliamente conocida y aplicada a nivel mundial, existiendo una variedad de diseños y adaptaciones que pueden ajustarse a las características específicas de la finca.

La simplicidad relativa de la operación y el mantenimiento de biodigestores de pequeña y mediana escala, sumado a la posibilidad de utilizar materiales locales para su construcción, como se evidencia en diversas experiencias en Latinoamérica (Martínez et al., 2018), fortalecen aún más la viabilidad técnica. La capacitación del personal de la finca en el manejo del sistema, un aspecto que ha mostrado alta receptividad según los resultados de la investigación, asegura el correcto funcionamiento y la sustentabilidad a largo plazo.

V.1.6.2 Factibilidad Económica

En segundo lugar, la factibilidad económica de la propuesta se sustenta en el potencial de generación de valor a partir de los subproductos del proceso de biodigestión. La producción de biogás, una fuente de energía renovable, puede sustituir el uso de combustibles fósiles en diversas actividades de la finca, como la

cocción de alimentos, la calefacción o la generación de electricidad, lo que se traduce en un ahorro económico significativo.

Adicionalmente, la obtención de biofertilizante, un abono orgánico rico en nutrientes, representa una alternativa viable a los fertilizantes químicos convencionales, disminuyendo los costos de producción y mejorando la calidad de los suelos. Como señalan De Baere et al. (2013), "la digestión anaeróbica no solo reduce los costos de gestión de residuos, sino que también genera ingresos adicionales a través de la venta de biogás y biofertilizantes, mejorando la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias". La posibilidad de comercializar el excedente de biogás o biofertilizante en la comunidad local representa una oportunidad adicional para generar ingresos y fortalecer la economía de la finca.

Análisis costo beneficio

Tomando en cuenta la inversión inicial de 4.510,31 Bs., que, a su vez, representa el costo inicial, el contexto de la Finca Centenera, Cojedes, Venezuela, y considerando un aumento del 40% anual en los beneficios, se presentan los cálculos de costos y beneficio de la puesta en marcha del sistema Biodigestor propuesta en esta investigación para el grado académico de Ingeniero en Producción Animal de la UNELLEZ municipio Ricaurte.

Beneficios:

Ahorro mensual por sustitución de combustibles (Mes 1): 800 Bs.

Ahorro mensual por sustitución de fertilizantes químicos (Mes 1): 300 Bs.

Ingresos mensuales por venta de biofertilizante (Mes 1): 500 Bs.

Aumento mensual en beneficios: 40% (aplicado a la suma de los tres beneficios).

Vida útil del biodigestor: 5 años.

Tasa de descuento: 12% (considerando la inflación y el riesgo país).

Cálculo de los Beneficios Mensuales con Aumento del 40%:

Mes 1: $800 + 300 + 500 = 1.600$ Bs.

Mes 2: $1.600 * 1.40 = 2.240$ Bs.

Mes 3: $2.240 * 1.40 = 3.136$ Bs.

Mes 4: $3.136 * 1.40 = 4.390,4$ Bs.

Mes 5: $4.390,4 * 1.40 = 6.146,56$ Bs.

Tabla N° 18. Costo-Beneficio Mensual del Biodigestor

Concepto	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes4	Mes 5
Ahorro por sustitución de combustibles (Bs.)	800,00	1.120,00	1.568,00	2.195,20	3.073,28
Ahorro por sustitución de fertilizantes (Bs.)	300,00	420,00	588,00	823,20	1.152,48
Ingresos por venta de biofertilizante (Bs.)	500,00	700,00	980,00	1.372,00	1.920,80
Beneficios Totales Anuales (Bs.)	1.600,00	2.240,00	3.136,00	4.390,40	6.146,56

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Tabla N° 19. Flujo de Caja del Proyecto

Concepto	Mes 0 (Inversión)	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Inversión Inicial (Bs.)	-4.510,31					
Beneficios (Bs.)		1.600,00	2.240,00	3.136,00	4.390,40	6.146,56
Flujo de Caja Neto	-4.510,31	1.600,00	2.240,00	3.136,00	4.390,40	6.146,56

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Cálculo del VAN (Valor Actual Neto)

$$\text{VAN} = -4.510,31 + 1.600/(1+0,12) + 2.240/(1+0,12)^2 + 3.136/(1+0,12)^3 + 4.390,4/(1+0,12)^4 + 6.146,56/(1+0,12)^5$$

$$\text{VAN} = -4.510,31 + 1.428,57 + 1.785,71 + 2.232,14 + 2.778,13 + 3.447,68$$

VAN = 7.162,12 Bs.

Cálculo de la TIR (Tasa Interna de Retorno)

Usando Excel para calcular la TIR con los datos de flujo de caja de la tabla 20 se obtiene una TIR aproximada de **57%**.

Tabla N° 20. Resultados del Análisis Económico

Indicador	Valor
VAN (Bs.)	7.162,12
TIR (%)	≈ 57%

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

V.1.6.3 Factibilidad Ambiental

En tercer lugar, la propuesta es ambientalmente factible debido a su contribución a la mitigación del impacto ambiental de las actividades agropecuarias. La digestión anaeróbica reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente metano, un gas con un potencial de calentamiento global mucho mayor que el dióxido de carbono. Además, el uso de biofertilizantes disminuye la contaminación del suelo y del agua causada por los fertilizantes químicos, promoviendo la conservación de la biodiversidad y la salud de los ecosistemas. En este sentido, la propuesta se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, específicamente con el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), el ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 13 (Acción por el clima). Tal como lo expresa la FAO (2013) en su publicación sobre "La digestión anaeróbica de la biomasa en explotaciones familiares", "la implementación de biodigestores contribuye a la mitigación del cambio climático, la gestión sostenible de los recursos naturales y la mejora de la calidad de vida en las zonas rurales".

V.1.6.4 Factibilidad Social

Finalmente, desde una perspectiva social, la propuesta es factible debido a la alta aceptación y el interés que ha manifestado el personal de la finca en aprender sobre el funcionamiento y los beneficios del biodigestor. La participación activa de la comunidad local en el diseño, la construcción y la operación del sistema es fundamental para su sustentabilidad y su apropiación a largo plazo. Además, la implementación del biodigestor puede generar beneficios sociales adicionales, como la mejora de las condiciones de higiene y la reducción de malos olores, lo que contribuye a un mejor ambiente de trabajo y una mejor relación con la comunidad vecina.

La creación de capacidades locales en el manejo de tecnologías sustentables también representa un valor añadido para el desarrollo de la región. En conclusión, la propuesta "Sistema Biodigestor para el Desarrollo Sustentable de la Finca Centenera" se presenta como factible desde múltiples dimensiones, ofreciendo una solución integral para la gestión de residuos, la generación de energía renovable y la promoción de un desarrollo agropecuario más sustentable.

CAPÍTULO VI.

VI.1. Conclusiones y recomendaciones

VI.1.1 Conclusiones

El diseño propuesto para el sistema biodigestor en la Finca Centenera representa una solución viable y adaptable a las condiciones específicas de la misma. La selección de un biodigestor de tipo artesanal, construido con materiales accesibles como tanques de polietileno y tubería de PVC, responde a la necesidad de una tecnología de bajo costo y fácil construcción, priorizando la autogestión y el empoderamiento del personal de la finca.

La estimación de costos, basada en precios locales y considerando la capacidad del biodigestor (170 litros), proporciona una base sólida para la planificación económica del proyecto. La inclusión de elementos como válvulas para el ingreso de residuos y la salida de biogás, así como un sistema para la extracción del bioabono, garantizan el correcto funcionamiento del biodigestor y el aprovechamiento de sus subproductos. La simplicidad del diseño facilita la operación y el mantenimiento del sistema, lo cual es fundamental para su sustentabilidad a largo plazo.

El diseño también considera la importancia de la mezcla homogénea de la biomasa (estiércol de ganado vacuno) con agua, estableciendo una proporción adecuada para optimizar el proceso de digestión anaeróbica. Esta consideración, respaldada por la literatura científica, busca maximizar la producción de biogás y la calidad del bioabono. Además, el diseño se enfoca en la seguridad del sistema, contemplando medidas para prevenir fugas de biogás y otros riesgos asociados. Si bien se trata de un

biodigestor artesanal, se prioriza la construcción con materiales resistentes y conexiones seguras, minimizando la posibilidad de accidentes.

La propuesta también aborda la necesidad de capacitación del personal de la finca en el manejo del biodigestor. Se considera fundamental que los operarios comprendan el funcionamiento del sistema, realicen un mantenimiento adecuado y apliquen las medidas de seguridad correspondientes. La valoración de la percepción del personal de la finca, a través de encuestas, arrojó resultados altamente positivos en cuanto a la comprensión de los beneficios del biodigestor y la disposición a aprender sobre su manejo. Este factor es crucial para la adopción exitosa de la tecnología y su integración en las prácticas productivas de la finca.

En consecuencia, el diseño propuesto no solo se centra en la eficiencia técnica del biodigestor, sino que también considera aspectos económicos, sociales y ambientales, buscando un equilibrio entre la producción de biogás y bioabono, la viabilidad económica, la participación de la comunidad y la mitigación del impacto ambiental. En síntesis, el diseño del sistema biodigestor para la Finca Centenera se caracteriza por su adaptabilidad, bajo costo, facilidad de construcción y operación, enfoque en la seguridad y el aprovechamiento integral de los recursos.

Este diseño, además, promueve la autogestión y el desarrollo de capacidades locales, empoderando al personal de la finca en el manejo de tecnologías sustentables. La propuesta busca generar un impacto positivo en la economía de la finca, el ambiente y la calidad de vida de la comunidad, contribuyendo al desarrollo sustentable de la región. Por último, representa un modelo replicable en otras fincas con características similares, contribuyendo a la difusión de tecnologías de biodigestión y la promoción de prácticas agropecuarias más sustentables a nivel regional y nacional.

En definitiva, el diagnóstico de las condiciones de producción de residuos orgánicos en la Finca Centenera permitió identificar la disponibilidad de biomasa suficiente para la implementación de un biodigestor. Se establecieron los parámetros de diseño, considerando las características de la finca y las necesidades de la

comunidad. Se estimaron los costos necesarios para el diseño, proporcionando una base para la planificación económica. Finalmente, se diseñó un sistema biodigestor adaptable, de bajo costo y fácil operación, que promueve el aprovechamiento integral de los recursos y la mitigación del impacto ambiental. Se cumplieron así los objetivos específicos planteados.

VI.1.2 Recomendaciones

Realizar un estudio de mercado para determinar el potencial real de venta del biofertilizante.

Valorar el prototipo del biodigestor elaborado y realizar pruebas de funcionamiento para validar el diseño y optimizar su eficiencia.

Elaborar un plan de capacitación integral para el personal de la finca en el manejo del biodigestor.

Gestionar financiamiento para la construcción e implementación del sistema a escala real.

Monitorear el funcionamiento del biodigestor a largo plazo para evaluar su eficiencia y realizar ajustes si es necesario.

Realizar análisis de laboratorio que puedan confirmar los elementos físico – químicos mínimos para su adecuado funcionamiento. Análisis Cromatograficos. Análisis Microbiológicos, de variables como PH, temperatura, humedad y presión. Análisis de la cantidad y calidad del gas metano.

Difundir los resultados del proyecto a la comunidad científica y al público en general para promover la adopción de tecnologías de biodigestión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2012). Anaerobic digestion for global warming mitigation and energy generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3228-3242.
- American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- Arthurson, V. (2009). Global potential of biogas production. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5453 (Extraordinario), Marzo 24, 2000.
- Asamblea Nacional. (2006). Ley Orgánica del Ambiente. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 5833 (Extraordinario), Diciembre 22, 2006.
- Asamblea Nacional. (2010). Ley de Gestión Integral de la Basura. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 6017 (Extraordinario), Diciembre 30, 2010.
- Asamblea Nacional. (2001). Ley de Tierras y Desarrollo Agrario. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela*, 37323, Noviembre 13, 2001.
- Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill Interamericana
- Bridgwater, A. V. (2012). Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 175, 1-13.
- De Baere, L., Mattheus, E., Wellinger, A., & Baxter, D. (2013). Biogas from anaerobic digestion of biomass. IEA Bioenergy Task 37.
- De Baere, L. (2006). Anaerobic digestion for energy and nutrient recovery. *Water Science & Technology*, 54(8), 1-11.

- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Economía circular: un nuevo modelo económico.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2021, August 19). Anaerobic Digestion. Retrieved from <https://www.epa.gov/anaerobic-digestion>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2010). La biomasa para la energía: directrices para la sostenibilidad. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2013). La digestión anaeróbica de la biomasa en explotaciones familiares. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2013). Manual de biogás. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2017). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2017. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. (2018). Biogas for energy and agriculture: A global perspective. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Forster, J., Baky, A., & Kuchenbuch, A. (2018). Odour emissions from anaerobic digestion plants: A review. *Waste Management*, 75, 108-121.
- Fundación La Salle de Ciencias Naturales. (2020). Proyecto de biodigestores en comunidades rurales de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- González, A., Pérez, M., & Rodríguez, L. (2019). Gestión de residuos orgánicos en fincas pecuarias: Un estudio de caso en la Finca Centenera. *Revista de Ciencias Ambientales*, 25(2), 125-140.
- Hansen TL, Angelidaki I, & Sondergaard E. (2010). Anaerobic digestion of manure: Status and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 86(4), 883-906.
- Hernández R, Fernández C, & Baptista P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Hernández-Sampieri, R. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- International Energy Agency IEA. (2021). Bioenergy Technologies. International Energy Agency.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lettinga G. (1995). Anaerobic digestion: a historical perspective. *Water science and technology*, 31(1-2), 1-8.

- Lynch JM. (2007). Microbial ecology in sustainable agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(10), 1-10.
- Madigan MT, Martinko JM, & Parker J. (2000). *Brock biology of microorganisms*. Prentice Hall.
- Mata-Alvarez J, Macarie C, & Colleran E. (2000). Biomethanization of organic wastes: an overview of recent advances on biological processes for biogas production. *Journal of biotechnology*, 76(1-2), 101-116.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2004). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Metcalf, L., & Eddy, H. P. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.
- Ministerio del Poder Popular para la Agricultura Productiva y Tierras. (2021). *Plan Nacional de Desarrollo Agrario*. Caracas, Venezuela.
- Möller, K., & Müller, T. (2012). Effects of anaerobic digestion on nutrient availability and fertilizer value of animal manures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 93(3), 227-243.
- Morales, C. & Mejía, C. A. (2015). Evaluación del desempeño de un biodigestor para el tratamiento de la mezcla agua - Musílogo de café obtenidas por desmucilaginator mecánico. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y. Desarrollo CIMAD. Manizales.
- Oropeza J, González M, & Pérez J. (2018). Potencial de los biodigestores en la producción agrícola venezolana. *Revista Científica*, 15(3), 215-222.
- Owen WF, Stuckey DC, Healy JB, & Young L. (1979). Biogas production as an energy source. *Annual review of microbiology*, 33(1), 605-624.
- Pimentel D, & Tilman D. (1994). Environmental and energetic costs of producing food. *BioScience*, 44(10), 673-680.
- Rajendran, K., Wilkie, A. C., & Shanmugam, P. (2012). Biogas production from municipal solid waste and agro residues—A review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11(4), 333-357.
- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2020). *Environmental biotechnology: Principles and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Rodríguez H, & Fraga R. (2019). Biofertilizantes: Una alternativa sostenible para la agricultura. *Revista de Protección Vegetal*, 34(1), 1-10.
- Romero LC, Gómez JD, & Restrepo MA. (2012). Biofertilizantes: una alternativa para la agricultura sostenible. *Revista de la Facultad de Agronomía (Medellín)*, 60(2), 5359-5371.

- Román E, Pérez M, & García J. (2016). Biodigestores: una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en la producción animal. *Revista Científica*, 12(2), 115-122.
- Sánchez E. (2008). Biomasa: una alternativa energética. *Revista de la Universidad de Ciencias de la Computación*, 13(2), 109-117.
- Scarlat, N., Dallemand, J. F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and opportunities in Europe. *Renewable energy*, 129, 420-431.
- Speece, R. E. (2008). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Archae Press.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, & Haan C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Vessey JK. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 57-73.
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860.
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.

ANEXOS

Anexo A

Validación de Expertos

INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN

El cuestionario anexo tiene como objetivo recolectar la información requerida sobre la investigación: PROPUESTA DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA FINCA CENTENERA, MUNICIPIO RICAURTE ESTADO COJEDES. En tal sentido se espera que usted como experto en el área, evalúe cada ítem de acuerdo a la pertinencia, claridad y coherencia que tienen con el aspecto a estudiar.

1. Con relación a ACEPTAR se refiere a la posibilidad de que los ítems midan los indicadores establecidos en la operacionalización de variables, guardando su congruencia teórica de acuerdo con lo desarrollado en Capítulo II, referido a las Bases Teóricas.
2. Al mismo tiempo, se busca que los ítems, se formulen de forma tal que su redacción sea comprendida por el sujeto al que es aplicado, para así poder ser analizado y dar una respuesta donde emita su opinión sobre el hecho, atributo o propiedad evaluado.
3. Para evaluar cada ítem igualmente se sugiere que usted señale con una “X” en la casilla correspondiente de la hoja de validación que se anexa, si considera que el ítem se debe ACEPTAR, MODIFICAR, ELIMINAR O INCLUIR OTRA PREGUNTA.
4. Usted podrá escribir cualquier observación del instrumento que requiera ser mejorada en cuanto a la forma, contenido u otro aspecto.
5. Se le agradece colocar los datos personales solicitados.

6. Se anexan los objetivos de la investigación y la operacionalización de las variables.

I.1.3.1 Objetivo general

Proponer un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.

I.1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Diagnosticar las condiciones de producción de residuos orgánicos de la finca Centenera, municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Establecer los parámetros para el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Estimar costos necesarios para el diseño de un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.
- ✓ Diseñar un sistema biodigestor para el desarrollo sustentable de la finca Centenera, Municipio Ricaurte estado Cojedes.

Tabla N° 21. Sistema de Variables

Objetivo General	Variables	Definición Conceptual	Dimensión	Indicadores	Ítem
Proponer un sistema de biodigestor para el desarrollo sustentable de la Finca Centenera, Municipio Ricaurte, Estado Cojedes.	Independiente	Son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable. (Solano, Vargas, y Guillen, 2010).	Impacto Ambiental	Conocimiento Percepción Funcionamiento Eficiencia Energética	1, 2, 3 4, 5, 6 7, 8 9, 10
	Dependiente	Constituye un concepto multidimensional que involucra, como mínimo, dimensiones económicas, sociales y ambientales. Es decir, se trata de una idea amplia y compleja, que	Sustentabilidad	Reducción de Emisiones Crecimiento Económico Ambiente Gestión de Residuos	11, 12 13, 14 15, 16 17, 18

desborda el
constructo teórico
tradicional de las
ciencia (Ramírez,
Sánchez, & García,
(2004).

Fuente: Ramires y Ramires (2025)

Ítem	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?		
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?		
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?		
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?		
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?		
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?		
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?		
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?		
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?		
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?		
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?		
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?		
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?		
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?		
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?		

16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?		
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?		
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?		

HOJA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ÍTEMS	ACEPTAR	MODIFICAR	ELIMINAR	INCLUIR OTRA PREGUNTA
1	X			
2	X			
3	X			
4	X			
5	X			
6	X			
7	X			
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

Observaciones:

Nombres y Apellidos: MSc. Wilfredo José Báez

C.I.N° V-16.774.462

Título que lo acredita como experto: Ingeniero Agroindustrial

Fecha de la Validación: 10/01/2025

Firma:

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

HOJA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ÍTEMS	ACEPTAR	MODIFICAR	ELIMINAR	INCLUIR OTRA PREGUNTA
1	✓			
2	✓			
3	✓			
4	✓			
5	✓			
6	✓			
7	✓			
8	✓			
9	✓			
10	✓			
11	✓			
12	✓			
13	✓			
14	✓			
15	✓			
16	✓			
17	✓			
18	✓			

Observaciones:

Nombres y Apellidos: María Eugenia Paredes

C.I.N° V-9992733

Título que lo acredita como experto: Ing. Agroindustrial/ Dra. Educación

Fecha de la Validación: 10/01/2025

Firma: 

HOJA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

ÍTEMS	ACEPTAR	MODIFICAR	ELIMINAR	INCLUIR OTRA PREGUNTA
1	X			
2	X			
3	X			
4	X			
5	X			
6	X			
7	X			
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

Observaciones:

Nombres y Apellidos: Prof. Néstor Díaz

C.I N° V- 7539360

Título que lo acredita como experto: Ingeniero Agrónomo/ MSc. Docencia
Universitaria

Fecha de la Validación: 10/01/2025

Firma:



Anexo B
Cálculo de la confiabilidad

Confiabilidad de Kuder Richardson

	preguntas																			
sujetos	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18	total(1)	st2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	
4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	17	
5	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	15	
6	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	
7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	9	
																			vt	10,29
p	0,571	0,571	0,286	0,714	0,857	0,857	1,000	1,000	1,000	1,000	0,857	0,857	1,000	0,857	1,000	1,000	1,000	1,000		
q	0,429	0,429	0,714	0,286	0,143	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000	0,143	0,143	0,000	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000		
p*q	0,245	0,245	0,204	0,204	0,122	0,122	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,122	0,000	0,122	0,000	0,000	0,000	0,000		1,510
			rtt=	0,914	CONFIABLE															

Anexo C

Aplicación del Instrumento

Item	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?	☒	☐
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?	☒	☐
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?	☒	☐
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?	☒	☐
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	☒	☐
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	☒	☐
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	☒	☐
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	☒	☐
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	☒	☐
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	☒	☐
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	☒	☐
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	☒	☐
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	☒	☐
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	☒	☐
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	☒	☐
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	☒	☐
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	☒	☐
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	☒	☐

Ítem	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?	X	
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?	X	
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?		X
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?		X
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	X	
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?		X
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	X	
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	X	
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	

Ítem	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?		X
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?		X
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?		X
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?		X
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	X	
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	X	
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?		X
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	X	
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	

Item	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?	X	
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?	X	
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?		X
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?	X	
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	X	
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	X	
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	X	
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?		X
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	

Item	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?		X
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?		X
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?		X
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?	X	
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	X	
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	X	
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	X	
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	X	
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	

Ítem	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?	X	
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?	X	
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?	X	
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?	X	
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?	X	
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	X	
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	X	
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	X	
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	

Ítem	Pregunta	Si	No
1	¿Ha escuchado alguna vez la palabra "biodigestor"?	X	
2	¿Sabe que un biodigestor se utiliza para tratar residuos orgánicos?	X	
3	¿Considera que tiene alguna idea de cómo funciona un biodigestor?	X	
4	¿Cree que un biodigestor podría ayudar a reducir los malos olores en la finca?	X	
5	¿Piensa que un biodigestor podría generar algún tipo de ahorro económico para la finca?		X
6	¿Cree que un biodigestor podría tener un impacto positivo en el medio ambiente?	X	
7	¿Estaría dispuesto a aprender sobre el funcionamiento de un biodigestor?	X	
8	¿Consideraría beneficioso para la finca que se implementara un sistema de biodigestor?	X	
9	¿Entiende que un biodigestor utiliza la descomposición de materia orgánica para generar biogás?	X	
10	¿Comprende que un biodigestor puede producir tanto biogás como fertilizante (biológico)?	X	
11	¿Considera que la implementación de un biodigestor podría disminuir la presencia de moscas y otros insectos en la finca?	X	
12	¿Opina que la implementación del biodigestor podría reducir la necesidad de utilizar fertilizantes químicos?	X	
13	¿Considera que la producción de fertilizante orgánico a partir del biodigestor podría generar ingresos adicionales?	X	
14	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría reducir los gastos en la gestión de residuos?	X	
15	¿Piensa que la implementación del biodigestor podría mejorar la imagen de la finca ante la comunidad?	X	
16	¿Considera que el uso del biodigestor mejoraría las condiciones de higiene en la finca?	X	
17	¿Cree que el biodigestor facilitaría el manejo de los residuos orgánicos generados en la finca?	X	
18	¿Piensa que el uso del biodigestor podría convertir los residuos en un recurso útil para la finca?	X	



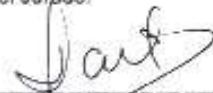
**ACTA DE VEREDICTO FINAL DEL JURADO EXAMINADOR DEL
TRABAJO DE GRADO (ART. 29 DE LA NORMATIVA)**

Hoy 27 de febrero del dos mil veinticinco, siendo las 10:30 am, reunidos en el salón del Programa **Ciencias del Agro y del Mar** de la UNELLEZ VIPI, los profesores (a) Prof. Diego Pineda C.I. 17.889.627, Prof. Paulys Carmona C.I. 21.136.900 y Prof. Jesús Farfán C.I. 9.888.651, Tutor (a) y Jurados designados por la Comisión Asesora del Programa Ciencias del Agro y del Mar en Resolución CAPCAM N°. 032/2025, Fecha: 07/02/2025; Acta N°. 445 EXTRAORDINARIA; PUNTO N°. 11, para evaluar la presentación oral y pública de la versión final del Trabajo de Grado titulado: "**PROPUESTA DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA FINCA CENTENERA, MUNICIPIO RICAURTE ESTADO COJEDES**"; requisito final para optar al Título de Ingeniero en Producción Animal realizado por los bachilleres **Javier Agustín Ramires Montilla** C.I. 30.076.682 y **Javier José Ramires Gómez** C.I. 11.962.773

Durante la presentación, el Jurado Examinador verificó el cumplimiento de los Artículos 26 y 27 (literal b) de la **Norma Transitoria del Trabajo de Grado para las Carreras de Ingeniería y Medicina Veterinaria del Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales de la UNELLEZ**. Culminado el acto a las 11:15 am, se deliberó para totalizar la **Calificación Parcial (60%)** (Documento y la Presentación), obteniéndose el siguiente resultado:

EXPOSITOR	NOTA OBTENIDA (1 - 5)
Br. Javier Agustín Ramires Montilla C.I. 30.076.682	5,00
Br. Javier José Ramires Gómez C.I. 11.962.773	3,00

Por el Jurado:


JURADO PRINCIPAL


TUTOR-COORDINADOR


JURADO PRINCIPAL