

**Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de  
un sistema de biogás como alternativa sostenible en la Vereda del Totumo,  
Pamplona, Norte de Santander**

Amanda Azucena Sierra Camacho

Mónica María Guevara Cárdenas

Director

Carlos Alberto Vera Romero

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Programa de Ingeniería Industrial

2024

## **Dedicatoria**

A nuestros hijos, fuente inagotable de amor y alegría. Cada paso dado en este arduo camino estuvo guiado por el deseo de construir un futuro mejor para ustedes. Gracias por su paciencia, comprensión y por ser la inspiración constante que iluminó nuestros días.

A Mónica Guevara, compañera de este viaje, cuya colaboración incansable y espíritu de equipo fueron fundamentales en la realización de este proyecto. Juntas superamos desafíos y celebramos triunfos, construyendo recuerdos que atesoraremos siempre.

A nuestras familias, amigos y seres queridos, por ser el sostén en los momentos difíciles y la razón para celebrar en los momentos de alegría. Este logro es tan suyo como nuestro, y lo compartimos con profundo agradecimiento por su constante apoyo. Este trabajo está dedicado a todos aquellos que creyeron en nosotros, nos alentaron a seguir adelante y compartieron la carga y la alegría de este proceso. Gracias por ser parte fundamental de nuestra historia.

Amanda Sierra

Este trabajo es dedicado a mis hermanos quienes siempre me acompañaron y apoyaron en este camino, a mi papa quien siempre me dio palabras de aliento, apoyo y estuvo siempre motivándome a seguir adelante, a mi pareja Nelson quien siempre me ha acompañado estos años ayudando con palabras de aliento.

A Amanda Sierra, mi compañera quien siempre fue un apoyo y siempre estuvo en este camino colaborándome. Triunfaremos y celebraremos todos nuestros logros y metas trazadas.

A mi hijo Mathias quien es la persona que me da motivos todos los días para ser mejor persona y crecer profesionalmente, mi polo a tierra y la persona quien me alienta siempre, pero en especial a mi mama quien es la persona a la que siempre tengo de ejemplo ya que es mi inspiración como mujer, profesional, hija, pero sobre todo como MAMÁ y también es la persona a quien le debo lo que soy.

Mónica Guevara

## **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todos los que hicieron una contribución significativa para la realización de este proyecto. En primer lugar, agradecemos a nuestros hijos por su paciencia, apoyo incondicional y comprensión durante las largas horas dedicadas a este proyecto. Su amor y alegría fueron nuestra fuente de inspiración constante.

Extendemos nuestro agradecimiento a nuestros padres, cuyo apoyo inquebrantable y aliento nos ha guiado a lo largo de este viaje académico. Su sabiduría y amor han sido la base sobre la cual construimos nuestros logros.

Agradecemos especialmente a nuestro tutor, Carlos Alberto Vera Romero por su orientación experta, paciencia infinita y compromiso constante. Su dirección y sabiduría fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo. Su dedicación a nuestro crecimiento académico no tiene precio.

Agradecemos a todos aquellos que, de una forma u otra, nos brindaron su apoyo a lo largo de este proceso.

Este logro no habría sido posible sin el respaldo y comprensión de nuestras familias, amigos y seres queridos. Su presencia y ánimo fueron un pilar fundamental en nuestro camino hacia la culminación de este trabajo.

Gracias a todos los que creyeron en nosotros y nos acompañaron en esta travesía académica.

Mónica M. Guevara C.

Amanda A. Sierra C.

## Resumen

En la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander, aún existe una preocupación social y ambiental, no hay acceso a los servicios de gas natural ni propano. La comunidad hace uso de la leña como único recurso funcional para la cocina, generando emisiones contaminantes y afectando la salud de los residentes.

El propósito de este estudio es evaluar la viabilidad técnica, financiera y ambiental de un sistema de biogás antes de implementarlo. Por consiguiente, se examinó la recopilación de información acerca de la vereda del Totumo, abarcando la disponibilidad de residuos orgánicos requeridos para la producción de biogás. Además, se examinaron diversas tecnologías relacionadas con la generación de biogás, teniendo en cuenta tanto los costos de implementación como los operativos del sistema.

Este estudio se llevó a cabo en cuatro etapas. En la primera fase; caracterización de Residuos Orgánico, en esta etapa inicial, se llevó a cabo una exploración de las condiciones y atributos, recopilando datos sobre los residuos orgánicos y excretas presentes en la vereda Totumo. Se evaluó el potencial de estos desechos como materias primas para la generación de biogás. Las actividades específicas incluyeron la caracterización e identificación de la fuente de la materia prima, determinando su capacidad para la producción de biogás, y el cálculo del potencial de producción basado en la composición de los residuos. En la segunda fase; análisis de Tecnologías de producción de biogás se llevó a cabo una investigación y evaluación de diversas tecnologías disponibles para la producción de biogás. La selección de la tecnología más

adecuada se realizó considerando las necesidades y características específicas de la comunidad, garantizando una elección óptima para la implementación del sistema. La tercera fase; análisis de costos y viabilidad económica, en esta fase, se recopilaban datos relacionados con los costos asociados a la implementación del sistema de biogás. A través de un análisis económico, se determinó la viabilidad financiera del proyecto, considerando tanto la inversión inicial como los posibles ahorros derivados del uso de biogás en lugar de leña y en la cuarta y última fase; contextualización de los efectos ambientales, se contextualizó acerca de los posibles efectos ambientales, tanto positivos como negativos, que podrían surgir con la introducción del sistema de biogás con la finalidad de promover prácticas sostenibles en la vereda Totumo. Este proyecto contribuye a la reducción de emisiones, así como a la mejora la calidad de vida y fomenta el desarrollo sostenible a nivel local.

***Palabras clave:*** Biogás, Biomasa, Contaminación, Fertilizante.

### **Abstract**

In the Totumo neighborhood of Pamplona, Norte de Santander, there is still a social and environmental concern as there is no access to natural gas or propane services. The community relies on firewood as the only functional resource for cooking, generating polluting emissions and affecting the health of residents.

The purpose of this study is to evaluate the technical, financial, and environmental feasibility of a biogas system before implementing it. Consequently, information gathering about the Totumo neighborhood was examined, covering the availability of organic waste required for biogas production. Additionally, various technologies related to biogas generation were examined, taking into account both implementation and operational costs of the system.

This study was carried out in four stages. In the first phase; Organic Waste Characterization, an exploration of the conditions and attributes was conducted, collecting data on organic waste and excreta present in the Totumo neighborhood. The potential of these waste materials for biogas production was evaluated. Specific activities included the characterization and identification of the source of raw material, determining its capacity for biogas production, and calculating the production potential based on the waste composition. In the second phase; Biogas Production Technologies Analysis, research and evaluation of various technologies available for biogas production were conducted. The selection of the most suitable technology was made considering the specific needs and characteristics of the community, ensuring optimal choice for system implementation. The third phase; Cost and Economic Viability Analysis, involved

gathering data related to the costs associated with the implementation of the biogas system. Through an economic analysis, the financial viability of the project was determined, considering both the initial investment and potential savings derived from using biogas instead of firewood. In the fourth and final phase; Environmental Effects Contextualization, the potential environmental effects, both positive and negative, that could arise with the introduction of the biogas system were contextualized in order to promote sustainable practices in the Totumo neighborhood. This project contributes to emissions reduction, improves quality of life, and promotes sustainable development at the local level.

***Keywords:*** Biogas, Biomass, Contamination, Fertilizer.



**Tabla de contenido**

Introducción .....	17
Problema de Investigación .....	19
Planteamiento del Problema .....	19
Justificación .....	22
Objetivos.....	23
Objetivo General.....	23
Objetivos Específicos.....	23
Marco Referencial.....	24
Estado de Arte.....	24
Marco Conceptual.....	27
Contaminación Ambiental Causada por los Residuos Sólidos.....	27
Contaminación .....	27
Contaminación Ambiental .....	27
Biogás .....	28
Metano (CH <sub>4</sub> ).....	31
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	31
Hidrogeno (H).....	31
Sulfuro de Hidrogeno (H <sub>2</sub> S).....	31
Biomasa.....	32
Biodigestor.....	33
Dispositivo para la Captura y Almacenamiento del Biogás. ....	34

	10
Digestión Anaeróbica.....	36
Tecnología de Biogás.....	39
Residuos Sólidos.....	39
Residuos Orgánicos .....	40
Servicio Energético.....	41
Desperdicios Orgánicos .....	41
Factibilidad .....	42
Marco Legal .....	42
Desarrollo Sostenible .....	42
Ley 1715 de 2014.....	43
Documento CONPES 3874 de 2016.....	43
Resolución 135 de 2012.....	43
Ley 9 de 1979.....	44
Ley 99 de 1993, Congreso de la República de Colombia.....	44
Constitución Política de Colombia (1991).....	44
Política Nacional de Producción Más Limpia (1997), Ministerio de ambiente .....	44
Decreto 2501 de 2007 Ministerio de Minas y Energía .....	45
Resolución 1283 de 2016.....	45
La Resolución 754 de 2014.....	45
NTC 5167 del 15 de Junio de 2004 .....	46
Licencias Ambientales .....	46

	11
Marco Metodológico.....	47
Fase I. Caracterización de Residuos Orgánicos .....	47
Fase II. Análisis de Tecnologías de Producción de Biogás .....	48
Fase III. Análisis de Costos y Viabilidad Económica.....	48
Fase IV. Contextualización de los Efectos Ambientales .....	48
Resultados.....	49
Caracterización del Sitio .....	50
Límites Geográficos de la Vereda El Totumo .....	51
Caracterización de los Residuos Orgánicos y Excretos Presentes en la Vereda	
El Totumo .....	52
Almacenamiento De Los Residuos Orgánicos .....	60
Análisis de Tecnologías de Producción de Biogás .....	60
Modelo Hindú .....	63
Modelo Chino .....	64
Modelo Taiwán .....	65
Modelo Batch.....	66
Valoración de las Alternativas .....	67
Biodigestor Taiwán.....	74
Componentes del Biodigestor Taiwán .....	76
Inclinación.....	77
Tamaño del Biodigestor .....	78
Temperatura .....	78

	12
Cantidad de Residuos Orgánicos .....	79
Análisis de Costos y Viabilidad Económica.....	80
Ubicación y Dimensión.....	80
Análisis Económico .....	80
Dimensión.....	83
Herramientas y Materiales .....	84
Dimensión.....	85
Materiales y Costos.....	88
Mano de Obra .....	91
Beneficios Económicos Directos del Uso de Biodigestores en un Año. ....	92
Beneficios del uso de un digestor durante dos décadas .....	93
Contextualización de los Efectos Ambientales.....	95
Conclusiones.....	100
Recomendaciones .....	102
Referencias Bibliográficas .....	103

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Composición Química del Biogás</i> .....	30
<b>Tabla 2</b> <i>Matriz de Caracterización de Residuos Orgánicos y Excretas en la Vereda El Totumo</i> .....	54
<b>Tabla 3</b> <i>Características de los biodigestores</i> .....	61
<b>Tabla 4</b> <i>Valoración</i> .....	69
<b>Tabla 5</b> <i>Matriz de Evaluación</i> .....	70
<b>Tabla 6</b> <i>Matriz Valor Ponderado</i> .....	71
<b>Tabla 7</b> <i>Soluciones ideales</i> .....	72
<b>Tabla 8</b> <i>Medidas de distancia</i> .....	72
<b>Tabla 9</b> <i>Proximidad Relativa</i> .....	73
<b>Tabla 10</b> <i>Proximidad Relativa de las Alternativas</i> .....	73
<b>Tabla 11</b> <i>Componentes del Biodigestor Tipo Taiwán</i> .....	76
<b>Tabla 12</b> <i>Tiempo de Retención Necesario en Biodigestores</i> .....	79
<b>Tabla 13</b> <i>Condiciones de Alimentación del Biodigestor</i> .....	79
<b>Tabla 14</b> <i>Dimensión</i> .....	83
<b>Tabla 15</b> <i>Herramientas</i> .....	85
<b>Tabla 16</b> <i>Materiales y su Cantidad</i> .....	88
<b>Tabla 17</b> <i>Costos Mano de Obra</i> .....	91
<b>Tabla 18</b> <i>Inversión Inicial</i> .....	91
<b>Tabla 19</b> <i>Beneficios</i> .....	92
<b>Tabla 20</b> <i>Beneficios Económicos</i> .....	94

<b>Tabla 21</b> <i>Matriz de Contextualización de los Efectos Ambientales</i> .....	96
---	----

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> <i>Etapas de Biodegradación de la Biomasa</i> .....	38
<b>Figura 2</b> <i>Ubicación Vereda El Totumo</i> .....	50
<b>Figura 3</b> <i>Ubicación vereda El Totumo, Mapa de Pamplona, Norte de Santander</i> .....	51
<b>Figura 4</b> <i>Modelo Hindú</i> .....	64
<b>Figura 5</b> <i>Modelo Chino</i> .....	65
<b>Figura 6</b> <i>Modelo Taiwán</i> .....	66
<b>Figura 7</b> <i>Modelo Batch</i> .....	67
<b>Figura 8</b> <i>Biodisgestor Tipo Taiwán en Colombia</i> .....	77

**Lista de Apéndices**

**Apéndice A** *Entrevista* ..... 112

**Apéndice B** *Consentimiento Informado* ..... 115



## **Introducción**

En la vereda del Totumo, situada en Pamplona, Norte de Santander, se encuentra una problemática crucial relacionada con la carencia de acceso a servicios de gas natural o propano. Como consecuencia, la comunidad se ve en la necesidad de depender exclusivamente de la cocina con leña para la preparación de alimentos, generando consecuencias adversas tanto para la salud de los residentes como para el entorno ambiental.

Esta situación ha dado lugar a la emisión de contaminantes que impacta la calidad del aire en la vereda. Además, la falta de servicios energéticos adecuados ha generado restricciones en las actividades cotidianas de la comunidad, especialmente en la laboriosa tarea de preparar alimentos, consumiendo tiempo valioso que podría destinarse a otras actividades productivas o momentos de descanso. Ante este panorama, surge la imperativa necesidad de hallar una solución integral y sostenible que aborde la ausencia de servicios de gas, y reduzca el impacto ambiental negativo derivado del uso de leña. En este contexto, se propuso un estudio para la implementación de un sistema de biogás que aproveche los residuos orgánicos y las excretas tanto de animales como de humanos, ofreciendo una alternativa eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

Finalmente, este estudio tiene como propósito examinar y valorar la factibilidad técnica, económica y ambiental de instalar un sistema de biogás que utilice los residuos anteriormente mencionados como materia prima, con el fin de sustituir el uso de leña en la preparación de alimentos y reducir la contaminación del aire en la vereda Totumo Pamplona, Norte de Santander. La implementación de un sistema de biogás se presenta

como una solución a la carencia de servicios de gas, como una oportunidad para aplicar conocimientos en ingeniería industrial con un enfoque sostenible, estableciendo cimientos para un desarrollo más equitativo y consciente del entorno. Este trabajo se evaluó el potencial de estos desechos como materias primas para la generación de biogás, se realizó un análisis de las tecnologías de producción de biogás y se llevó a cabo una investigación y evaluación de diversas tecnologías disponibles para la producción de biogás teniendo en cuenta la más adecuada para la comunidad, se realizó un análisis de costos y viabilidad económica de la implementación del sistema de biogás y por último se contextualizó los efectos ambientales, tanto positivos como negativos, que podrían surgir con la introducción del sistema de biogás con la finalidad de promover prácticas sostenibles en la vereda Totumo.

## **Problema de Investigación**

### **Planteamiento del Problema**

En la vereda del Totumo, ubicada en Pamplona, Norte de Santander, se enfrenta una problemática significativa derivada de la ausencia de servicios de gas natural o propano. Esta carencia ha llevado a la comunidad a depender exclusivamente de la cocina a base de leña para la preparación de alimentos, generando “consecuencias adversas tanto para la salud de los habitantes como para el entorno”, (Organización Mundial de la Salud, 2022).

La combustión de leña ha dado lugar a la emisión de contaminantes, siendo este el resultado primordial que impacta la calidad del aire en la vereda y pone en peligro la salud de los residentes. A su vez, la falta de acceso a servicios energéticos apropiados impone restricciones en las actividades cotidianas de la comunidad, convirtiendo la preparación de alimentos en una tarea laboriosa que consume un tiempo considerable.

Es imperativo abordar con urgencia esta situación para mejorar las condiciones de vida de la comunidad. La emisión de contaminantes provenientes de la quema de leña afecta directamente la salud de los habitantes, lo que hace esencial implementar una solución que proporcione un servicio de energía más limpio y eficiente.

La necesidad de resolver este problema es evidente, considerando que la dependencia de la cocina a base de leña impone dificultades en la vida diaria de los habitantes, y tiene consecuencias a largo plazo en la salud y el bienestar de la comunidad. Simultáneamente, la implementación de una solución como el sistema de biogás que

utiliza residuos orgánicos contribuiría de manera significativa a mejorar la calidad de vida de los habitantes y a reducir el impacto negativo en la vereda del Totumo.

La pregunta clave ¿Es factible y beneficioso implementar un sistema de biogás utilizando residuos orgánicos en la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander, como alternativa a falta de servicios de gas natural o propano y las problemáticas asociadas al uso de leña para la cocción de alimentos, desde un estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental?

En este contexto, surge la necesidad de realizar un estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental al ejecutar un sistema de biogás como alternativa sostenible para la vereda del Totumo. El proyecto se enfocó:

En la evaluación técnica, se llevó a cabo un análisis para determinar la disponibilidad y cantidad de residuos orgánicos en la vereda del Totumo para utilizarse como materia prima para la producción de biogás. Además, se evaluó la tecnología más adecuada; considerando diversos factores, como las dimensiones requeridas. Asimismo, se examinaron los requisitos y costos asociados a la infraestructura necesaria, abarcando el diseño y la construcción.

En la evaluación económica, se realizó un análisis de los costos de implementación del sistema de biogás, incluyendo la evaluación de la inversión inicial en infraestructura y equipamiento necesario. Se examinaron los posibles ahorros económicos derivados del uso de biogás en lugar de leña, considerando tanto el costo de adquisición de la leña como los costos asociados a la salud y al medio ambiente.

En la evaluación ambiental, se procedió a la contextualización de los efectos positivos y negativos ambientales que podrían surgir con la implementación del sistema de biogás utilizando los residuos sólidos de la vereda.

## **Justificación**

El presente proyecto de investigación aplicado es imprescindible tanto en el ámbito académico y disciplinario, como en lo social y personal, debido a la naturaleza del problema identificado en la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander.

Desde la perspectiva académica y disciplinaria, la introducción de un sistema de biogás que aproveche residuos orgánicos emerge como una solución ante la escasez de servicios de gas natural o propano, así como los problemas asociados al uso de leña. Este enfoque constituye una oportunidad para aplicar y perfeccionar conocimientos en el ámbito de la ingeniería industrial, y posibilita la exploración y aplicación de tecnologías para la generación de energía renovable y técnicas de gestión de residuos. Estas áreas se destacan como temas de peso y de considerable importancia en la actualidad.

La implementación exitosa de un servicio de biogás, al proporcionar una fuente de energía más limpia y accesible para la preparación de alimentos, beneficia la vida de los habitantes, y contribuye de manera significativa a la mejora de la salud y al bienestar de una comunidad vulnerable. Este proyecto, que abarca áreas esenciales de la ingeniería industrial, como la gestión de proyectos, la ingeniería de procesos y la optimización de recursos, demuestra la capacidad de integrar conocimientos y habilidades en distintos campos. Al considerar la gestión eficiente de los residuos y la producción de energía renovable, se subraya la importancia de aplicar principios éticos y sostenibles en la toma de decisiones, lo cual refuerza el enfoque integral de la ingeniería industrial para resolver problemas prácticos y mejorar la calidad de vida de las comunidades, sin perder de vista los aspectos medioambientales.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar un sistema de biogás como alternativa sostenible en la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander, tanto para la sustitución eficaz del uso de leña en la cocción de alimentos como la eliminación de la contaminación del aire en la comunidad.

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar los residuos orgánicos disponibles en la vereda Totumo, para evaluar su potencial como materia prima para la producción de biogás.

Analizar las diferentes tecnologías de producción de biogás disponibles, para seleccionar la más adecuada para la comunidad.

Determinar la viabilidad económica para la implementación del sistema de biogás a partir de un análisis de costos.

Contextualizar los impactos ambientales positivos y negativos de la implementación del sistema de biogás.

## Marco Referencial

### Estado de Arte

De acuerdo al “Estudio de pre factibilidad para la construcción de un biodigestor como propuesta para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos provenientes del restaurante, y del mantenimiento de zonas verdes en el Parque Industrial Corona, Sopó” (Ochoa, 2022, p16), indica que “Se examinaron investigaciones internacionales y nacionales en bases de datos clave para respaldar la relevancia del proyecto. Se seleccionaron estudios de Costa Rica, Brasil, Perú, India, Colombia y Bogotá, alineados con sus objetivos, destacando la importancia del conocimiento actual para informar la investigación”.

A nivel internacional, se tiene el estudio de (Ávila, 2018), “Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago”, determinó la composición química de los residuos generados a partir de la toma de una muestra compuesta por residuos recolectados durante cinco días. Posteriormente construyó e instaló cuatro biodigestores a escala: el primero consistió únicamente en 8,1 kg de residuos, mientras que el segundo incorporó 8,1 kg de residuos junto con “5 ml de Índigo (un acelerador de la descomposición de la materia orgánica). En cuanto al tercer biodigestor, incluyó 1,5 kg de granza de arroz junto con 4,05 kg de residuos. Por último, se preparó una mezcla con 0,4 kg de pasto transvala y 4,05 kg de residuos. Posteriormente, se llevaron a cabo mediciones de temperatura y se monitoreó la producción de burbujas durante un período de retención de 37 días (indicador de la generación de gas). Como resultado, se concluyó que el segundo



biodigestor instalado fue el que generó la mayor producción de biogás” (Ávila et al, 2018).

En Brasil un proyecto titulado “Optimización de los parámetros de producción de metano durante la codigestión anaeróbica de residuos alimentarios y de jardinería”, (Perin et al, 2020), evaluó la digestión anaerobia de residuos de alimentos y su codigestión con residuos de jardín y se obtuvo que la codigestión de residuos alimentarios con residuos lignocelulósicos mejoró la producción de metano, exponiendo que una sustitución del 20 % de la Tasa de Carga Orgánica (OLR) de residuos de alimentos por el sustrato lignocelulósicos mejoró tanto la producción de biogás como el rendimiento específico de metano. La mejora de la producción de biogás ( $86 \text{ L d}^{-1}$ ), el rendimiento específico de metano ( $0,47 \text{ L g VS}^{-1}$ ) y el contenido de metano (67 %) de la codigestión de alimentos y residuos de jardín, en comparación con la digestión anaeróbica de residuos alimentarios solamente ( $17 \text{ L d}^{-1}$ ,  $0.06 \text{ L g VS}^{-1}$  y 43%, respectivamente) indica la posibilidad de optimizar el proceso, al aplicar residuos de jardín.

El estudio que se realizó en la India, titulado “Energía descentralizada a partir de digestores portátiles de biogás que utilizan residuos domésticos de cocina”, (Espinosa Mantilla, 2021), hace una breve descripción de las diferentes materias primas de biomasa, aclaran las técnicas de digestión de residuos de cocina por medio de la digestión anaeróbica, exponen diferentes tipos de biodigestores de tipo portátil y se discute el procedimiento generalizado para el diseño de una unidad portátil de biogás; estudio que ratifica que el diseño sistemático de unidades de biogás y la alimentación adecuada de los

desechos de cocina ofrece una ventaja de utilización efectiva de los desechos en la producción de energía descentralizada.

A nivel nacional el estudio “Producción y valorización energética de biogás, a partir de residuos alimenticios y biomasa vegetal”, (Jiménez Lobo, 2018), “El estudio abordó la generación de biogás mediante codigestión de residuos alimenticios y biomasa vegetal. Se exploró la influencia de la relación sustrato-inóculo en la composición del biogás. La proporción óptima fue 70:30 (residuos alimenticios: biomasa vegetal), logrando un rendimiento de 425 ml de CH<sub>4</sub> por gramo de sólidos volátiles”.

El estudio titulado “Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento”, (UPME & UNAL, 2018), identificó la disponibilidad de biomasa en Colombia, expuso el potencial teórico y factible para la generación de biogás, y evaluó los costos de producción de este. De igual forma realizó experimentación y concluyó que “los resultados de la codigestión permiten establecer un alto potencial a nivel nacional para resolver la problemática en el que actualmente el proyecto se encuentra en sintonía con las necesidades del país en cuanto a la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y los lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Este enfoque contribuye directamente a cerrar la brecha establecida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) para alcanzar la meta del 20% de reducción de gases de efecto invernadero. Además, destaca que, dada la situación nacional, es imperativo avanzar en el desarrollo de esta fuente de energía renovable, ya que puede desempeñar un papel crucial como sustituto y/o complemento

del gas natural, así como en la valorización energética de residuos” (UPME & UNAL, 2018),

## **Marco Conceptual**

### ***Contaminación Ambiental Causada por los Residuos Sólidos***

Según Mayorga et al. (2021) la generación descontrolada de residuos sólidos constituye uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial. La falta de adecuados sistemas de gestión y disposición final de estos residuos conlleva a la contaminación del suelo, agua y aire, así como a la proliferación de enfermedades y la degradación del entorno natural.

### ***Contaminación***

Conforme a lo expuesto por la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible en (2016), el aumento constante en la generación de desechos originados por la actividad humana representa una seria problemática de índole social y ambiental. Esta cuestión se ha convertido en un asunto de suma relevancia, hacia el cual se están orientando políticas de intervención, información y gestión

### ***Contaminación Ambiental***

La Fundación Aquae (2018), define la contaminación como la introducción de sustancias perjudiciales en un entorno específico, lo cual perturba el equilibrio de dicho entorno y lo convierte en un lugar no seguro. Las causas de la contaminación ambiental son variadas y dependen de diversos factores, fluctuando según el ecosistema afectado.

Magallanes, et al. (2021), comentan que “estas causas están vinculadas al crecimiento de la población humana y al desarrollo industrial descontrolado, generando

un desequilibrio en el medio ambiente a través de la presencia de agentes contaminantes físico, químico o biológico”.

**Contaminantes químicos.** Surgen de la industria química, donde se producen sustancias perjudiciales como ácidos, disolventes orgánicos, materiales plásticos, derivados del petróleo, fertilizantes sintéticos y pesticidas.

**Agentes físicos.** “Se originan a partir de actividades humanas, tales como el ruido, la radiación, la generación de calor y la emisión de energía electromagnética” (Magallanes, et al. 2021).

**Contaminantes biológicos.** “Generados a causa de la descomposición y fermentación de residuos orgánicos, como los excrementos, el aserrín proveniente de la industria forestal, papel, desechos de fábricas o vertidos en los desagües” (Magallanes, et al. 2021).

### ***Biogás***

De acuerdo con Lu y Gao (2021) “El biogás es un gas combustible producido a través de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, como residuos agrícolas, estiércol, residuos de alimentos y aguas residuales” (p.8), este gas, principalmente compuesto por metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y puede ser utilizado como una fuente de energía renovable para la generación de electricidad, calefacción, iluminación y cocina, lo que lo convierte en una alternativa sostenible y limpia.

Zapata (1997) expone que “En el contexto colombiano, se identifica un significativo potencial en la aplicación de residuos orgánico-agrícolas. Sin embargo, en la práctica actual, la generación de energía mediante biogás se limita principalmente a

satisfacer las demandas de cocción e iluminación” (p.29). Esta iniciativa se lleva a cabo en ubicaciones específicas y, en general, la capacidad de producción de energía raramente supera los 180 kW.

“En Colombia, a pesar de su base agropecuaria robusta y potencial en la industria, el crecimiento en la generación de energía con biogás se ve obstaculizado. La falta total de información y regulación limita la perspectiva de aprovechar residuos orgánicos a gran escala”. (González, 2007).

Para Godoy et al. (2018) el biogás tiene varias aplicaciones beneficiosas para el desarrollo local sostenible: energía renovable, gestión de residuos, desarrollo económico local, beneficios para la agricultura y reducción de la contaminación ambiental.

La producción de biogás es una estrategia prometedora para fomentar el desarrollo local sostenible mientras se abordan los desafíos económicos y ambientales. Es un método de aprovechamiento responsable de los recursos locales que beneficia tanto al medio ambiente como a las comunidades locales.

Según Olaya (2009) “La composición del biogás, una mezcla de gases combustibles, varía según el tipo de material orgánico utilizado en su producción, como se muestra en la tabla 1” (p.16).

**Tabla 1***Composicion Quimica del Biogas*

Componente	Composición aprox. %
Metano $[[CH]]_2$	60 - 70
Gas carbónico $[[CO]]_2$	30 - 40
Hidrógeno $H_2$	1.0
Nitrógeno $N_2$	0.5
Monóxido de Carbono $CO_2$	0.1
Oxígeno $O_2$	0.1

*Nota.* La tabla muestra la composición química del biogás con su respectivo componente.

*Fuente.* Arboleda y González (2009, p18)

“El gas resultante de arqueas metanógenas durante la descomposición anaeróbica de biomasa es incoloro y compuesto principalmente por metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), hidrógeno ( $H$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ). Al ser puro y renovable, este gas contribuye a mejorar el efecto invernadero y su producción prescinde de hermeticidad debido a la incompatibilidad de las bacterias con el oxígeno, (Benavides Ballesteros, & León Aristizábal, 2007, p.34) está compuesta por:

- Metano: 40 – 70 % Vol.
- Dióxido de carbono: 30 – 60 % Vol.
- Hidrogeno: 0 – 1 % Vol.
- Sulfuro de Hidrogeno: 0 – 3 % Vol.

***Metano (CH<sub>4</sub>)***

“El metano, componente principal del biogás y gas natural, es incoloro, inodoro, inflamable y no tóxico. Con una capacidad calórica de 11940 [Kcal/seg], representa el 40-70% del biogás. Los riesgos asociados incluyen asfixia en concentraciones altas y peligro de quemaduras debido a su inflamabilidad.” (Benavides Ballesteros, & León Aristizábal, 2007, p.34).

***Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)***

“Gas inodoro, incoloro, componente secundario del Biogás, encontrado en concentraciones de 30% y 60%. Muy importante en el proceso de la metalogénesis, puesto que las arqueobacterias producen el Metano mediante la respiración anaeróbica por reducción de CO<sub>2</sub>” (Benavides Ballesteros, & León Aristizábal, 2007, p.34).

***Hidrogeno (H<sub>2</sub>)***

“Entre 0% y 1 % Gas incoloro, inodoro, reactivo, presente en muy bajas concentraciones en el proceso de metalogénesis” (Benavides Ballesteros, & León Aristizábal, 2007, p.34).

***Sulfuro de Hidrogeno (H<sub>2</sub>S)***

“En concentraciones del 0% al 3%, el biogás contiene un gas incoloro con olor, inflamable y altamente tóxico, responsable del distintivo olor del biogás. Por motivos de salud, es esencial filtrar el biogás en aplicaciones domésticas para evitar posibles accidentes”, (Benavides Ballesteros, & León Aristizábal, 2007, p.34).

Además de la producción de biogás, se obtienen residuos fertilizantes de alta calidad, que presentan un pH promedio de 7.5% y contienen aproximadamente un 85%

de materia orgánica, así como nitrógeno, fósforo y potasio. Estos componentes aportan significativos beneficios al suelo, mejorando sus características físicas. Esto incluye la facilitación de la aireación, el aumento de la capacidad de infiltración del agua y la retención de la humedad.

El biogás proporciona la capacidad de generar calor en las cocinas de los hogares al distribuir el gas a través de una red de conductos de bajo costo. Además, brinda la posibilidad de producir energía eléctrica y luz mediante moto generadores que funcionan con biogás.

“El poder calorífico del biogás es aproximadamente 6 KWh por metro cúbico, equivalente a la mitad de un litro de combustible diésel por metro cúbico. Esta utilización de residuos orgánicos evita su disposición inadecuada en ríos o vertederos, beneficiando el medio ambiente y la comunidad” ya que, al aprovechar residuos orgánicos para producir biogás, se evita la disposición inapropiada de estos residuos en ríos o vertederos. Esta práctica no solo contribuye a la preservación del medio ambiente al reducir la contaminación, sino que también beneficia a la comunidad al proporcionar una fuente de energía renovable y sostenible, (Flores y Acevedo, 2016, p.36).

### ***Biomasa***

Según Viejo Zubicaray (2010), el término “biomasa, en un sentido más amplio, hace referencia a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico. La noción de biomasa abarca productos tanto de origen vegetal como animal”.



En cambio, (Begon et al. 2006) resalta que en “la industria de generación de energía eléctrica, el término biomasa se utiliza para describir el combustible obtenido directamente de árboles y plantas. Este combustible puede ser cultivado específicamente con el propósito de utilizarlo en la generación de energía eléctrica o puede ser residuo”.

### ***Biodigestor***

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible define que “un biodigestor es un dispositivo concebido para generar biogás mediante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Este sistema se compone de un contenedor o tanque sellado en el cual se deposita biomasa orgánica” (Fundación Aquae, 2018), como estiércol animal, residuos agrícolas, restos de alimentos u otros desechos orgánicos. Generalmente, estos sistemas incluyen los siguientes componentes:

**Cámara de carga.** Un compartimento donde se deposita la materia orgánica que alimenta el proceso del reactor.

**Reactor.** Un tanque donde tiene lugar la fermentación anaerobia y que está conectado a las cámaras de carga y descarga.

**Cámara de descarga.** Recibe los residuos que provienen del reactor, que pueden utilizarse como abono.

**Cubierta.** Su función es evitar la entrada de aire en el reactor y prevenir la fuga del gas generado.

**Tubería.** Conduce el gas producido en el reactor, equipada con una válvula de seguridad que evita que la presión en la cubierta exceda niveles seguros.

### ***Dispositivo para la Captura y Almacenamiento del Biogás.***

Los biodigestores se presentan como una alternativa económica y altamente eficiente en comunidades con acceso limitado a la energía, particularmente en áreas rurales del país, Satisfacen las necesidades energéticas de estas comunidades y ofrecen una solución para el manejo de residuos orgánicos que con frecuencia contaminan recursos hídricos, aire y suelo.

En correspondencia con (Vargas, 2020), existen opciones de biodigestores, como el biodigestor de domo fijo, domo flotante, estructura flexible, horizontales y tipos Batch, entre otros. Determinó que cada sistema se elige de acuerdo con las características y necesidades específicas del lugar en donde se va a implementar la tecnología.

Existen diversas variedades de biodigestores que pueden ser categorizados según diferentes criterios, tales como el modo de operación, el tamaño, el nivel de sofisticación, el proceso de llenado y vaciado, el número de tanques, o los sistemas de movilización de biomasa. A continuación, se describen algunos de los tipos más comunes de biodigestores:

**Biodigestor Horizontal.** Este tipo de biodigestor se caracteriza por su forma alargada y puede ubicarse en la superficie o enterrado en el suelo. Su diseño permite que, al cargar la mezcla de residuos orgánicos, ésta se desplace hacia la salida, evitando la mezcla de residuos antiguos con los nuevos. Esta disposición facilita la fermentación anaerobia y lo hace altamente eficiente (Solano & Vargas, 2009).

**Biodigestor de Membrana.** Estos biodigestores se fabrican con diferentes tipos de membranas, que generalmente no deben tener un grosor inferior a 0.80 mm. Los

materiales de membrana varían en costo y características, siendo los más comunes el PVC (policloruro de vinilo) y el PDA (polietileno de alta densidad). Son de fácil instalación y movilidad, y se utilizan principalmente para sustratos con altos contenidos de sólidos, como estiércol de cerdo y ganado (FAO, s.f.).

**Biodigestor CSTR (Tanque de Flujo Continuo con Agitación).** Este biodigestor procesa cargas orgánicas elevadas y mantiene una composición constante en cualquier punto dentro del tanque debido a su funcionamiento en estado estacionario. Incorpora un sistema de agitación que asegura una óptima interacción entre la materia orgánica y los microorganismos responsables de la fermentación, lo que aumenta la eficiencia en la producción de biogás (Solano & Vargas, 2009).

**Biodigestor de Laguna Cubierta.** Estos biodigestores, utilizados principalmente para tratar purines de la industria ganadera, consisten en lagunas impermeabilizadas y cubiertas herméticamente con membranas de diferentes plásticos. No cuentan con sistemas de calefacción ni agitación del medio, por lo que su eficiencia depende de las temperaturas de entrada de los efluentes (FAO, s.f.).

**Biodigestor de Tipo Chino o de Domo Fijo.** Este biodigestor consiste en una cámara de gas hecha de materiales rígidos, como hormigón, ladrillo, cemento o piedra, y generalmente se encuentra enterrado en el suelo. A medida que aumenta la producción de gas, la presión incrementa, lo que desplaza el líquido en los tubos de entrada y salida. Aunque es menos eficiente en la producción de biogás debido a los largos tiempos de retención, es adecuado para obtener fertilizantes (Solano & Vargas, 2009).

### ***Digestión Anaeróbica***

De acuerdo con Acosta y Obaya (2005), “la digestión anaeróbica representa un proceso biológico intrincado en el cual, en condiciones de falta de oxígeno, la materia orgánica se convierte en biogás o gas biológico, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono”.

La digestión anaerobia es un proceso biológico que permite la producción de gas metano y otros gases volátiles a través del uso de un biodigestor, que es una cámara cerrada herméticamente. Este proceso implica la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno y es facilitado por microorganismos (Torres, Sebastián et al. 2021). La materia orgánica utilizada en este proceso puede provenir de diversas fuentes, como residuos agroindustriales, agrícolas o de origen animal, como los de la industria cárnica o los excrementos (Acosta y Obaya, 2005)

El proceso de digestión anaerobia se divide en cuatro etapas, en las que participan distintos tipos de microorganismos en un proceso conocido como sintrofismo (Acosta y Obaya, 2005), el resultado principal de este proceso es la generación de gas metano y la formación de digestato o materia orgánica descompuesta, que a menudo se utiliza como fertilizante.

A continuación, se describen cada una de las fases de la digestión anaerobia:

**Hidrolisis.** Esta etapa implica la ruptura de enlaces químicos mediante la adición de agua. Es un proceso inicial que puede ser lento, especialmente cuando se trata de materia orgánica sólida. En esta fase, las macromoléculas se descomponen en sus monómeros mediante enzimas digestivas producidas por microorganismos anaerobios. La

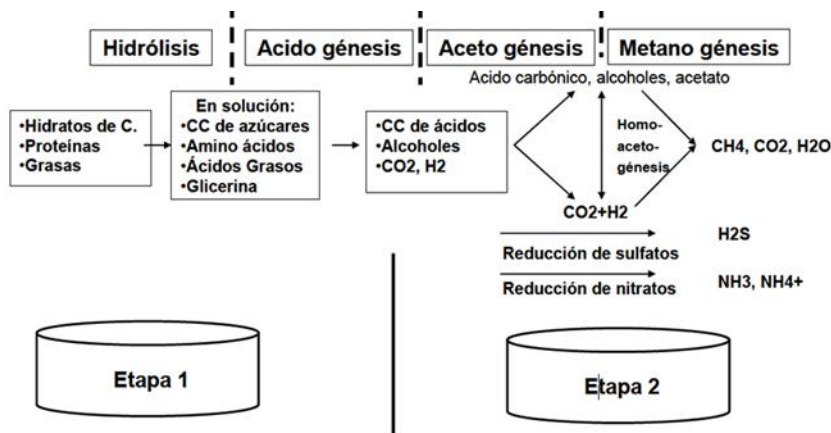
temperatura óptima oscila entre 30 °C y 50 °C, con un pH entre 5 y 7 (Acosta y Obaya, 2005).

**Acido génesis.** Durante esta etapa, las bacterias introducen los productos de la hidrólisis a través de su membrana celular y los fermentan para obtener compuestos orgánicos, como el ácido acético. En este proceso se generan ácidos grasos volátiles, cuyas concentraciones dependen de las condiciones del biodigestor (Acosta y Obaya, 2005).

**Acetogénesis.** En esta fase, los ácidos grasos volátiles generados en la etapa anterior se oxidan a ácido acético, produciendo también hidrógeno (H<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como subproductos. La concentración de estos compuestos depende de las condiciones del biodigestor (Acosta y Obaya, 2005).

**Metanogénesis.** En la etapa final, microorganismos del dominio Archaea son responsables de metabolizar los productos anteriores para producir metano. Estas bacterias son estrictamente anaeróbicas y sensibles al oxígeno y a cambios fisicoquímicos dentro del biodigestor. La metanogénesis se lleva a cabo a través de diferentes rutas metabólicas y da como resultado la producción de metano (Acosta y Obaya, 2005)

Como se muestra en la ilustración 1, cada una de las etapas es esencial en el proceso de digestión anaerobia y contribuye a la generación de gas metano y la descomposición de la materia orgánica en un sistema biodigestor.

**Figura 1***Etapas de Biodegradación de la Biomasa*

*Fuente.* Olvera e Islas, 2010.

Existen varios factores que ejercen influencia en el proceso de producción de biogás en un biodigestor. A continuación, se detallan estos factores:

**Temperatura y Tiempo de Retención.** La temperatura y el tiempo de permanencia de los materiales dentro del biodigestor son cruciales para el proceso de fermentación. Según el rango de temperatura y el tiempo de retención, la fermentación se puede dividir en tres categorías:

**Fermentación Psicofílica.** Se realiza a temperaturas en el rango de 10 a 20 °C y requiere más de 100 días de retención.

**Fermentación Mesofílica:** Ocurre a temperaturas entre 20 y 35 °C, con un tiempo de retención de aproximadamente 30 a 40 días.

**Fermentación Termofílica.** Se desarrolla a temperaturas entre 50 y 60 °C, con un tiempo de retención de más de 8 días.

Estos diferentes rangos de temperatura y tiempos de retención afectan la eficiencia de la fermentación anaerobia y, por lo tanto, la producción de biogás en el biodigestor.

### ***Tecnología de Biogás***

“El biogás puede ser utilizado en diversas aplicaciones que abarcan desde el ámbito doméstico hasta el comunitario e industrial. A nivel doméstico, es posible emplear biodigestores con capacidades de 2 a 16 m<sup>3</sup>, típicamente destinados para actividades como cocinar, calefacción e iluminación. Estos biodigestores se utilizan para la autosuficiencia en áreas rurales o aisladas donde se generan cantidades significativas de residuos orgánicos” (Surendra et al., 2014).

Según Velásquez-Piñas et al. (2023), “la tecnología de digestión anaerobia (DA) es un proceso implementado para generar biogás y biol a través de la descomposición de residuos orgánicos. Tanto el biol como el biogás tienen aplicaciones en la producción de biofertilizantes y electricidad renovable. Una adecuada comercialización de esta electricidad puede contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al sustituir la electricidad proveniente de fuentes fósiles, y el uso de biofertilizantes puede disminuir la necesidad de fertilizantes nitrogenados a base de urea”.

### ***Residuos Sólidos***

Conforme al Ministerio de Ambiente, se consideran residuos sólidos a aquellos materiales descartados al alcanzar el fin de su vida útil y que generalmente no poseen valor económico por sí mismos. Estos residuos consisten principalmente en desechos derivados de materiales utilizados en la manufactura, transformación o uso de bienes de

consumo. La mayoría de estos residuos sólidos son susceptibles de ser reutilizados o transformados mediante un adecuado proceso de reciclado. Los principales generadores de residuos sólidos son los habitantes de las grandes ciudades, con un porcentaje significativo, destacándose la falta de conciencia sobre el reciclaje en la actualidad.

**Residuo sólido aprovechable.** Cualquier material, objeto, sustancia o elemento en estado sólido que carece de valor de uso para su generador, pero que puede ser aprovechado para ser reintegrado a un proceso productivo.

**Residuo sólido especial.** Cualquier desecho sólido que, debido a su naturaleza, composición, dimensiones, volumen, peso, requisitos de transporte, condiciones de almacenamiento y compactación, no puede ser recogido, gestionado, tratado o dispuesto de manera convencional por la entidad encargada del servicio público de limpieza.

### ***Residuos Orgánicos***

Los desechos orgánicos y la biomasa provienen de seres vivos como plantas y animales y experimentan descomposición a través de microorganismos o agentes fisicoquímicos en condiciones normales, por ejemplo, los residuos de alimentos de un restaurante y el mantenimiento de áreas verdes en el Parque Industrial Corona son ejemplos de estos desechos. De acuerdo a Ochoa (2022), “estos residuos pueden ser aprovechados como recurso para generar un combustible gaseoso útil”, el biogás, mediante la descomposición natural de la materia orgánica en condiciones anaerobias, tal como destaca Ochoa (2022), Posteriormente, este biogás puede ser incorporado a un sistema. Con un contenido de metano que varía entre el 60% y el 80%.



Los desechos orgánicos y la biomasa provienen de seres vivos, como plantas y animales, y experimentan descomposición a través de microorganismos o agentes fisicoquímicos en condiciones normales, según lo indicado por Ochoa (2022), “estos residuos incluyen los restos de comida de un restaurante y los residuos resultantes del mantenimiento de áreas verdes en el Parque Industrial Corona y señalan que los desechos pueden ser utilizados como recurso para generar un combustible gaseoso útil”.

### ***Servicio Energético***

Según la información proporcionada por el Ministerio de Energía, este desempeña un papel fundamental en el impulso del país tanto a nivel industrial y comercial a gran escala, atendiendo a la demanda, así como a nivel residencial al brindar servicios a los usuarios particulares. El Estado tiene un rol centrado en la formulación de políticas públicas, regulación, cerrar brechas, planificar la expansión y promover las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), entre otras funciones. Todo esto tiene como objetivo asegurar la confiabilidad del servicio y mejorar las condiciones para todos los usuarios en el territorio nacional.

### ***Desperdicios Orgánicos***

Flores Dante, en su definición, caracteriza los residuos sólidos orgánicos como aquellos derivados de productos de origen orgánico, siendo en su mayoría biodegradables, es decir, capaces de descomponerse naturalmente. Estos residuos pueden desintegrarse rápidamente, transformándose en otra forma de materia orgánica, como ejemplos de restos de alimentos, frutas, verduras, carne, huevos, entre otros. También menciona que hay materiales con una velocidad de degradación más lenta, como el cartón

y el papel. En su explicación, se excluye al plástico de estas propiedades, ya que, a pesar de tener un origen en un compuesto orgánico, su estructura molecular es más compleja.

### ***Factibilidad***

Según Rodríguez (2009) Los análisis de viabilidad son una herramienta analítica utilizada para evaluar la posibilidad de éxito de un proyecto y la capacidad de una organización para llevarlo a cabo. Estos estudios permiten estimar la probabilidad de éxito en la consecución de un objetivo y son útiles para adaptar nuestras expectativas o implementar medidas correctivas con el fin de alcanzar las metas establecidas.

### **Marco Legal**

Comprender el contexto normativo relacionado con el desarrollo sostenible, energías renovables y la gestión de residuos sólidos resulta esencial para el proyecto por diversas razones fundamentales:

### ***Desarrollo Sostenible***

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

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

***Ley 1715 de 2014***

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

El propósito de esta legislación es crear el marco normativo y las herramientas necesarias para fomentar la utilización de fuentes de energía no convencionales, especialmente las renovables. Asimismo, busca impulsar la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias destinadas a la generación de energía, la eficiencia energética y la adaptación de la demanda, todo ello en concordancia con la política energética nacional.

***Documento CONPES 3874 de 2016***

Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos.

Este texto expone la formulación de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, destacándola como una política de interés social, económico, ambiental y sanitario a nivel nacional.

***Resolución 135 de 2012***

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

Su propósito es normar la presencia de monopolios en la prestación de servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible, particularmente cuando la competencia no resulte viable en la práctica. En situaciones distintas, busca fomentar la competencia entre los proveedores de servicios.

***Ley 9 de 1979***

“Disposición reglamentaria legal para la conservación y preservación del ambiente”.

Cualquier individuo que acceda a un entorno laboral está obligado a cumplir con las disposiciones de higiene y seguridad establecidas por esta legislación, sus regulaciones y el reglamento interno de medicina, higiene y seguridad de la empresa correspondiente.

***Ley 99 de 1993, Congreso de la República de Colombia***

“Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables”.

Mediante esta disposición se establece la creación del Ministerio del Medio Ambiente, se reestructura el sector público encargado de la administración y preservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se estructura el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se emiten otras normativas.

***Constitución Política de Colombia (1991)***

Art 79°. “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano”. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

***Política Nacional de Producción Más Limpia (1997), Ministerio de ambiente***

“Estrategia emergente para afrontar los retos ambientales nacionales e internacionales en la industria, esto por medio de la Producción Más Limpia (PML)”.

En esta política se describe la producción más limpia como la aplicación constante de una estrategia ambiental preventiva e integral en los procesos de producción, así como en los productos y servicios, con el objetivo de disminuir los riesgos asociados a la salud humana y al medio ambiente.

***Decreto 2501 de 2007 Ministerio de Minas y Energía***

“Por medio del cual se dictan disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de energía eléctrica”.

***Resolución 1283 de 2016***

Ministerio de Ambiente Establece el procedimiento y requisitos para la expedición de la certificación de beneficio ambiental por nuevas inversiones en proyectos de fuentes no convencionales de energía renovable”.

El Artículo 5 del Decreto 1713 de 2002 establece que la responsabilidad por los efectos ambientales y a la salud pública generados por las actividades efectuadas en los diferentes componentes del servicio público de aseo de los residuos sólidos, recaerá en la persona prestadora del servicio de aseo; sin embargo, cuando se realice la actividad de aprovechamiento, dicha responsabilidad será de quien ejecute la actividad.

***La Resolución 754 de 2014***

“Por medio de la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los 22 Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible & Ministerio de Vivienda, n.d.).

***NTC 5167 del 15 de Junio de 2004***

“La cual tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos como abonos o fertilizantes” (ICONTEC internacional, n.d.)

***Licencias Ambientales***

**El Decreto 1753 de 1994.** “Define las tecnologías y acciones de preservación, mitigación, control, corrección y compensación de los impactos y efectos ambientales a ser usadas en el proyecto, obra o actividad”.

**Decreto 1180 de 2003.** “Concepto y alcance de la licencia ambiental. La licencia ambiental llevará implícitos todos los permisos, autorizaciones y/o concesiones para el uso, aprovechamiento y/o afectación de los recursos naturales renovables, que sean necesarios para el desarrollo y operación del proyecto, obra o actividad”.

**El Decreto 1220 de 2005.** “Establece algunas definiciones sobre el tema ambiental, señala las autoridades ambientales competentes, el concepto, alcance y término de la licencia ambiental y define la Licencia Ambiental Global”.

En resumen, la importancia de familiarizarse con este marco legal proporciona al proyecto una base sólida para operar dentro de los límites legales y ambientales, asegurando su viabilidad a largo plazo y su contribución positiva al desarrollo sostenible.

## **Marco Metodológico**

La metodología adoptada fue de carácter mixto, integrando enfoques cuantitativos y cualitativos. Esta combinación permitió la realización de un análisis estadístico descriptivo que permitió obtener una comprensión completa de la situación, desde la caracterización de residuos hasta la evaluación de tecnologías y análisis económico.

El desarrollo del proyecto se estructuró en cuatro fases claves:

El paradigma subyacente se alinea con la investigación aplicada, buscando generar conocimiento práctico para abordar problemáticas específicas en el contexto de la vereda del Totumo en Pamplona, Norte de Santander. El método principal consistió en una entrevista semiestructurada compuesta por 29 preguntas, dirigida tanto al presidente de la vereda como a algunos residentes. Este enfoque permitió obtener percepciones profundas y datos cuantificables sobre los impactos económicos y ambientales derivados de la implementación del sistema de biogás. Además, se complementó con observación directa para enriquecer la comprensión del entorno y validar la información recopilada. Se utilizó un muestreo intencional para garantizar la representatividad de las perspectivas. La combinación de técnicas de recolección de información y el diseño meticuloso del instrumento fortalecieron la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos

### **Fase I. Caracterización de Residuos Orgánicos**

En esta etapa inicial, se llevó a cabo una exploración de las condiciones y atributos, recopilando datos sobre los residuos orgánicos y excretas presentes en la vereda Totumo de Pamplona, Norte de Santander. Se evaluó el potencial de estos desechos como materias primas para la generación de biogás. Las actividades específicas incluyeron la

caracterización e identificación de la fuente de la materia prima, determinando su capacidad para la producción de biogás, y el cálculo del potencial de producción basado en la composición de los residuos.

### **Fase II. Análisis de Tecnologías de Producción de Biogás**

Se llevó a cabo una investigación y evaluación de diversas tecnologías disponibles para la producción de biogás. La selección de la tecnología más adecuada se realizó considerando las necesidades y características específicas de la comunidad, garantizando una elección óptima para la implementación del sistema.

### **Fase III. Análisis de Costos y Viabilidad Económica**

En esta fase, se recopilaron datos relacionados con los costos asociados a la implementación del sistema de biogás. A través de un análisis económico, se determinó la viabilidad financiera del proyecto, considerando tanto la inversión inicial como los posibles ahorros derivados del uso de biogás en lugar de leña.

### **Fase IV. Contextualización de los Efectos Ambientales**

En esta etapa crucial, se contextualizó acerca de los posibles efectos ambientales, tanto positivos como negativos, que podrían surgir con la introducción del sistema de biogás con la finalidad de promover prácticas sostenibles en la vereda Totumo.

Este marco metodológico garantiza un enfoque integral y sistemático para abordar los objetivos de la investigación, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas y la implementación exitosa del sistema de biogás en la vereda del Totumo.



## **Resultados**

## Caracterización del Sitio

Para comenzar, se llevó a cabo una exploración directa en el área de estudio. Además, se utilizó una captura de pantalla con georreferenciación de Google Earth para obtener información precisa sobre la ubicación del área de estudio. Las coordenadas geográficas se utilizaron para la georreferenciación, enfatizando la distancia en relación con el meridiano de Greenwich, donde el punto se ubica a 72 grados, 39 minutos y 36 segundos al oeste de este meridiano. El uso de esta técnica permitió una identificación precisa y detallada de la ubicación geográfica de la zona de estudio.

### Figura 2

#### *Ubicación Vereda El Totumo*

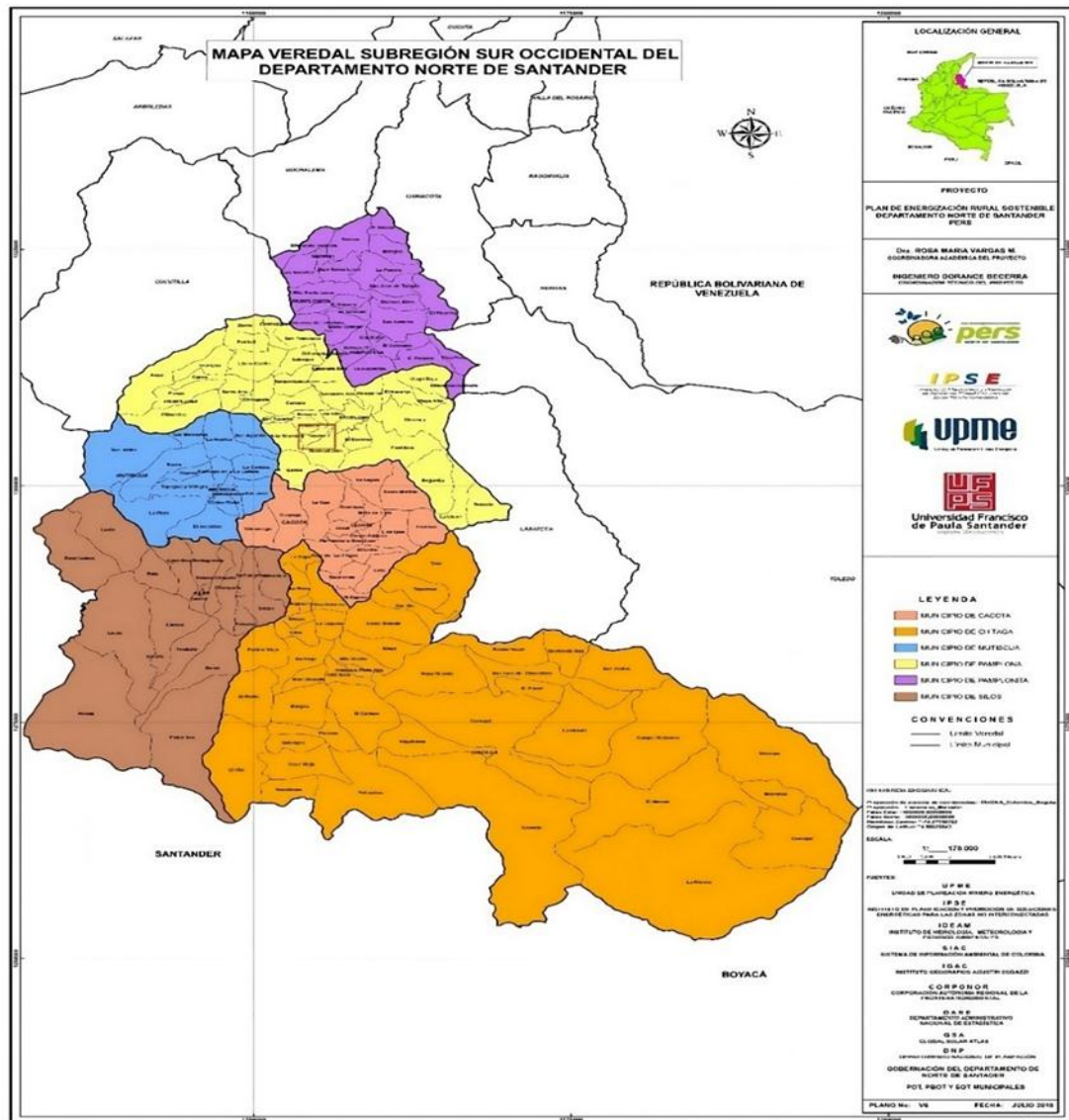


*Fuente.* Google Earth

La vereda del totumo se encuentra ubicada al sur del municipio de Pamplona, Norte de Santander. A una distancia aproximada de 8 km. Del casco urbano, vía barrió el Zulia.

Figura 3

*Ubicación vereda El Totumo, Mapa de Pamplona, Norte de Santander*



Fuente. Alcaldía Pamplona, 2023

### ***Límites Geográficos de la Vereda El Totumo***

De acuerdo con Municipal (2016), los límites geográficos son los siguientes:

**Norte.** Casco Urbano, linderos de los predios de los señores: Víctor Martínez,

Vicente Bohada. Con la vereda el Rosal; quebrada el Volcán predios de los señores:

María Raquel Villamizar, Silverio Portilla, Mariano López, Seferino Vera, Ubaldina Villamizar, Jesús Ramón Portilla, Justo Portilla, Domingo Pabón.

**Sur.** Vereda García con el área estratégica; vereda Monte dentro con áreas estratégicas y divisoria de aguas (Volcán y Monte dentro), predio del señor Justo Portilla.

**Oriente.** Vereda Monte dentro en la divisoria de aguas (Volcán y Monte dentro), predios de los señores: Justo Portilla, Lucio Montañez, Juan Portilla, Stella Villamizar, Cecilia Villamizar, Belarmino Galvis, Luis Antonio Villamizar, Vicente Bohada, Víctor Martínez, y Carlos Villamizar.

**Occidente.** Vereda Alto Grande, predio del señor: Domingo Pabón, hasta encontrar el Chorro y aguas arriba hasta encontrar la carretera, por esta hasta encontrar la finca el Raco, áreas estratégicas.

La vereda El Totumo está compuesta por 19 familias, cada una de ellas con una población que oscila entre 3 y 4 habitantes. Además, el clima frío de la vereda brinda a sus residentes experiencias climáticas únicas. Las temperaturas oscilan entre 7° a 20° tienen un impacto en la vida cotidiana y las actividades de la comunidad, desde la elección de ropa hasta las prácticas agrícolas locales.

### **Caracterización de los Residuos Orgánicos y Excretos Presentes en la Vereda El Totumo**

Se ha llevado a cabo una descripción detallada de los desechos orgánicos de la vereda Totumo, lo que ha revelado las características distintivas de este lugar. La variedad de cultivos, como arveja, papa amarilla, fresa, zanahoria y papa negra, destaca la riqueza agrícola. Además, la biodiversidad local se enriquece con la presencia de mora

uva, curubo, lulo, remolacha y repollo. En base a una exploración directa en el terreno, este estudio proporciona una visión completa de los recursos disponibles y sienta las bases para comprender el potencial de implementar un sistema de biogás en armonía con las características únicas de la vereda Totumo.

De acuerdo con la recopilación de datos sobre los residuos orgánicos y excretas presentes en la vereda Totumo, se realizó una matriz para reflejar la caracterización e identificación de la fuente de la materia prima, determinando su capacidad para la producción de biogás, y el cálculo del potencial de producción basado en la composición de los residuos.

**Tabla 2***Matriz de Caracterización de Residuos Orgánicos y Excretas en la Vereda El Totumo*

Residuos	Origen	Descripción	Cantidad	Composición	Potencial para biogás	Observaciones
Residuos Orgánicos	Cultivos	Papa amarilla	10 -20 (tonelada/4-5 meses)	Materia orgánica: 80% Agua: 18% Otros (minerales, fibras, etc.): 2%	Almidón y otros componentes orgánicos	Se debe considerar su composición específica, y el pre tratamiento
		Fresa	40 - 80 (tonelada/4-6 meses)	Materia orgánica: 85% Agua: 10% Otros: 5%	Contenido de agua y azúcares	La mezcla con otros sustratos puede ser necesaria debido a su alta humedad
		Zanahoria	10 - 20 (tonelada/4-5 meses)	Materia orgánica: 88% Agua: 8% Otros: 4%	Carbohidratos, fibras y otros componentes orgánicos.	La relación carbono: nitrógeno es importante para la eficiencia de la digestión anaeróbica
		Arveja	5 - 10 (tonelada/ 3-4 meses)	Materia orgánica: 75% Agua: 20% Otros: 5%	Carbohidratos y proteínas	La mezcla con otros sustratos puede ser beneficiosa

Papa negra	10 – 20 (tonelada/5 - 8 meses)	Materia orgánica: 82% Agua: 15% Otros: 3%	Carbohidratos	Se debe considerar su composición específica, y el pretratamiento
Arracacha	15 - 25 (tonelada/12 meses)	Materia orgánica: 80-85% Carbono (C): 40-45% Nitrógeno (N): 3-4%	Materia orgánica	La eficiencia de la producción de biogás dependerá de la cantidad y composición de los residuos
Habas	0.5 - 1 (tonelada/4-7 meses)	Materia orgánica: 70-75% Carbono (C): 35-40% Nitrógeno (N): 4-5%	Proteínas y carbohidratos	La mezcla con otros sustratos puede ser beneficiosa
Maíz	0.25 - 0.5 (tonelada/4-8 meses)	Materia orgánica: 70-75% Carbono (C): 35-40% Nitrógeno (N): 1-2%	Materia orgánica	Es una excelente fuente de materia orgánica
Cilantro	0.2 - 0.4 (tonelada/2-4 meses)	Materia orgánica: 80-85%	Materia orgánica	La cantidad disponible

		Carbono (C): 40-45%		puede ser un factor limitante.
		Nitrógeno (N): 3-4%		
Mora	0.5 – 1 (tonelada/ 4 meses)	Materia orgánica: 80%	Carbohidratos y fibra	La eficiencia de la producción de biogás dependerá de la disponibilidad de residuos.
		Agua: 15%		Contribuye al potencial de biogás.
		Otros: 5%		
Tomate de árbol	8 - 12 (tonelada/12-15 meses)	Materia orgánica: 85%	Materia orgánica	La eficiencia de la producción de biogás dependerá de la cantidad de residuos
		Agua: 10%		Es adecuada para la producción de biogás
		Otros: 5%		
Curubo	8 - 10 (tonelada/12meses)	Materia orgánica: 80-85%	Materia orgánica	
		Carbono (C): 40-45%		
		Nitrógeno (N): 3-4%		
Remolacha	6 - 8 (tonelada/10 meses)	Materia orgánica: 90%	Azúcares y otros componentes orgánicos	
		Agua: 7%		
		Otros: 3%		



		Lulo	4 – 6 (tonelada/ 12 meses)	Materia orgánica: 88% Agua: 8% Otros: 4%	Carbohidratos	Contribuye al potencial del biogás
		Repollo	3 - 4 (tonelada/ 4 meses)	Materia orgánica: 92% Agua: 5% Otros: 3%	Materia orgánica	La eficiencia de la producción de biogás dependerá de la cantidad y composición de los residuos
	Residencial	Restos de alimentos	200 – 250 (Kilogramos /semana)	Materia orgánica: 70-90% Carbono (C): 35-50% Nitrógeno (N): 2-5%	Carbohidratos, grasas, proteína y fibras y celulosa	Se debe considerar la composición variada, alta humedad, el pretratamiento, control de contaminantes y la digestión por etapas
Excretas Humanas	Población Local		500 – 600 (Kilogramos /semana)	Sólidos orgánicos: 70-90% Carbono (C): 30-50%	Materia orgánica y nutrientes	Considerar la composición variable, seguridad sanitaria y la

Excretas de Animales	Pecuario	Bovino	5 – 7 (Toneladas semana)	<p>Nitrógeno (N): 5-10%</p> <p>Agua: 70-90%</p> <p>Fósforo (P): 1-3%</p> <p>Potasio (K): 0.5-2%</p> <p>Sólidos orgánicos: 25-40%</p> <p>Carbono (C): 25-45%</p> <p>Nitrógeno (N): 1.5-3.5%</p> <p>Agua: 60-75%</p> <p>Fósforo (P): 0.5-2%</p> <p>Potasio (K): 0.5-2%</p> <p>Materia seca: 25-40%</p>	<p>Materia orgánica, carbono y nitrógeno</p>	<p>gestión de residuos.</p> <p>Considerar el contenido fibroso y la gestión del estiércol</p>
		Gallinas	300 – 400 (Kilogramos /semana)	<p>Sólidos orgánicos: 25-35%</p> <p>Carbono (C): 20-40%</p> <p>Nitrógeno (N): 1.5-3.5%</p> <p>Agua: 65-75%</p> <p>Fósforo (P): 1-2%</p>	<p>Materia orgánica, nitrógeno y fósforo</p>	<p>Considerar el alto contenido de nitrógeno</p>

Conejos	30 – 40 (Kilogramos /semana)	Potasio (K): 1-2% Materia seca: 25-35% Materia orgánica: Aproximadamente 20-35% Carbono (C): 20-35% Nitrógeno (N): 1.5-3.5%	Materia orgánica y nitrógeno	Considerar que son más secas y fibrosas
Porcinos	70 – 100 (Kilogramos /semana)	Materia orgánica: Aproximadamente 20-40% Carbono (C): 20-40% Nitrógeno (N): 1.5-4%	Materia orgánica y nutrientes	Considerar el alto contenido de agua y la gestión del estiércol
Caballo	140 - 210 (Kilogramos /semana)	Materia orgánica: Aproximadamente 20-40% Carbono (C): 20-40% Nitrógeno (N): 1.5-3.5%	Materia orgánica y nutrientes	Considerar su material vegetativo.

---

*Fuente. Propia*

### ***Almacenamiento De Los Residuos Orgánicos***

De acuerdo al Decreto 2981 de 2013 (Art 83), especifica que “en el caso del almacenamiento de los residuos aprovechables se debe tener en cuenta que deben estar limpios y no contaminados con residuos peligrosos metales pesados ni bifenilos policlorados” para que no se deteriore su calidad ni se pierda su valor, que no afecte el entorno físico, la salud humana y la seguridad bajo condiciones seguras dependiendo de sus características.

Para el almacenamiento y presentación de los residuos se debe utilizar dos recipientes. El que se destine para los residuos aprovechables podrá ser un recipiente desechable mientras que el de los residuos no aprovechables podrá ser un recipiente retornable” (decreto 1713 de 2002).

### **Análisis de Tecnologías de Producción de Biogás**

En la Fase II, se realizaron una exploración de todas las tecnologías disponibles para la producción de biogás, evaluando cuidadosamente cada una de ellas. Esta investigación detallada se centró en comprender las características técnicas de cada tecnología, así como en determinar la que mejor se adaptara a las necesidades específicas de la vereda El Totumo.

**Tabla 3***Características de los biodigestores*

Tipo de Biodigestor	Biodigestor Hindú	Biodigestor chino	Biodigestor Taiwán	Biodigestor batch
	Diseño			
Principio de diseño	Alimentación continua, digestor mixto	Alimentación continua, con almacenaje de bioabono.	Alimentación semicontinua, canal de fermentación.	Alimentación discontinua, cilindro vertical, tanque de gas flotante.
Componente: digestor/almacén de gas	“Digestor construido en mampostería o estructura de concreto y un depósito de gas móvil en forma de campana”. <sup>a</sup>	“Digestor construido en mampostería y un domo fijo e inmóvil cerrado donde se almacena el biogás”. <sup>a</sup>	Estructura flexible construida a base de polietileno.	Digestor construido con batería de digestores y tanque hermético.
Instalaciones de seguridad	No necesita instalaciones de seguridad por ser construido en ladrillo y cemento.	No necesita instalaciones de seguridad por ser subterráneo	Necesita instalaciones de seguridad por la fragilidad de la bolsa a desgarros o luz UV	No necesita instalaciones de seguridad por la resistencia de los tanques herméticos
Componente: Manómetro	Obligatorio por la presión alta de gas.	Obligatorio por la irregularidad en los niveles de gas.	No Obligatorio porque la presión de gas es baja y constante.	Obligatorio porque al ser discontinuo, el gas puede ser diferente en cada carga.
Componente: Agitador y mezclador	Se puede instalar, pero no es obligatorio.	Se puede instalar, pero no es obligatorio.	Se puede instalar, pero no es obligatorio.	Se debe instalar obligatoriamente.

Usos recomendados	Muy desarrollado, fiable en tamaños familiares.	Muy desarrollado Para tratamiento de aguas residuales.	Para sitios donde predominan las temperaturas altas y constantes.	“Es aplicable cuando se presenten problemas de manejo o cuando la materia orgánica está disponible de forma intermitente”. <sup>a</sup>
Eficiencia				
Vida útil prevista	8-12 años	12-20 años	3-8 años	3-10 años
Conductividad térmica (W/(m*k))	1.047 W/(m*C)	1.047 W/(m*C)	0.658 W/(m*C)	0.157 W/(m*C)

*Fuente.* Español Avilez & Osorio González, 2022; Olaya & González, 2019..

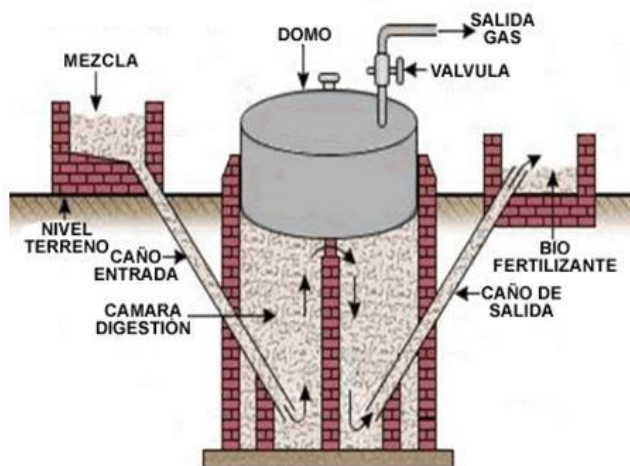
### ***Modelo Hindú***

Puede operar de manera continua o semicontinua. Proporciona “gas a una presión relativamente constante y el volumen de gas almacenado se identifica por la posición de la campana” (Español Avilez & Osorio González, 2022) ya que se debe realizar un mantenimiento periódico a la campana, puesto que la cúpula flotante debe ser protegida de la corrosión esta presenta una mayor complejidad en cuanto a su construcción y mantenimiento por lo que requiere de personal experto. Este biodigestor tiene una vida útil de 12 años en los casos más favorables. “Su productividad volumétrica es (0.4 – 0.6 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> al día), lo cual se debe a la forma uniforme en que fluye la materia orgánica dentro del biodigestor” Barrera-Cardoso et al.(2022), este biodigestor utiliza el doble de agua, con una relación de 1:2, presente una remoción de DQO del 70%, y es una de las más altas en los biodigestores rurales y su costo de construcción del digestor es alto debido a la construcción de la campana ya que tiene problemas como la oxidación de la bóveda.

Las ventajas del modelo hindú son que; permite medir nivel del biogás, tiene manejo sencillo, presión constante y vida útil larga. Sin embargo, sus desventajas son que puede afectar alguna capa freática, coste elevado, la cúpula de metal puede oxidarse, se deben usar contrapesos sobre acampana para mantener presión constante y tiene un constante mantenimiento sistemático.

## Figura 4

### Modelo Hindú



Fuente. Barrera-Cardoso et al.2022.

### Modelo Chino

De acuerdo a Barrera-Cardoso et al. (2022). "El diseño chino permite su operación de manera continua o semicontinua. En el proceso de extracción de biogás, parte del líquido regresa al interior del biodigestor, lo que resulta en una presión de gas no constante en el biodigestor. Esta presión aumenta con la acumulación de biogás y la diferencia de alturas entre el nivel interno y externo del líquido. Esta variabilidad de presión puede dificultar la aplicación final del biogás", debido a que este modelo tiene una construcción es compleja y requiere supervisión de personal capacitado y el transporte de materiales también demanda mano de obra especializada por el volumen de este. "Este modelo tiene una vida útil máxima de 20 años y es el más resistente al estar construido con ladrillo y cemento. Su productividad volumétrica varía entre 0.2 y 0.5 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> al día, siendo la más baja informada para biodigestores rurales" (Barrera-Cardoso et al., 2022).



## Figura 5

### Modelo Chino



Fuente. Barrera-Cardoso et al.2022.

### Modelo Taiwán

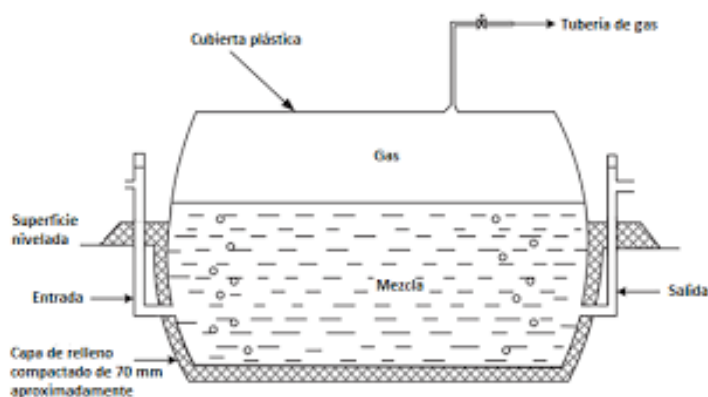
Este modelo puede trabajar de manera semicontinua, están formados por una bolsa que es resistente a las condiciones ambientales. “Están diseñados fundamentalmente para el tratamiento de excretas” Barrera-Cardoso et al. (2022) “Los materiales de construcción son de fácil transporte, la instalación es simple y se completa en un día después de excavar la zanja. No requiere mano de obra especializada y el mantenimiento es rápido y sencillo, lo que permite a cualquier productor instalarlo sin asesoramiento técnico directo y con el uso de herramientas comunes” Díaz Guío & Salazar Cerón (2020). La tecnología de este modelo es muy conocida en América Latina y debido a esto se facilita su replicación en zonas rurales o ganaderas. “Estos biodigestores pueden generar entre 0.5 y 1.0 m<sup>3</sup> de biogás por m<sup>3</sup> al día, con eficiencias de remoción de DQO entre 65% y 70%, convirtiéndolo en uno de los biodigestores más eficientes” Barrera-Cardoso et al. (2022). Este biodigestor, aunque tiene el mayor consumo de agua entre los demás biodigestores, son muy útiles y de soluciones rápidas por sus cortos períodos de

instalación. Asimismo, el material plástico que es utilizado puede reciclarse una vez que ha alcanzado su vida útil. Este modelo tiene un bajo costo de transporte de los materiales ya que son piezas pequeñas y ligeras, y porque están prefabricados, también se pueden hacer a cualquier tamaño y tienen una vida útil máxima de 8 años, por razones de que “la bolsa es considerada como frágil y susceptible a daños mecánicos y a los cambios de la temperatura ambiental, aunque, contienen una geo membrana de PVC muy fácil de reparar (Díaz y Salazar, 2019).

Una de las ventajas del biodigestor Taiwán, es la resistencia a eventos telúricos, su diseño es hermético y flexible, reducen pérdidas, permite medir visualmente el volumen del biogás, contiene el 75% de su volumen total en materia orgánica y es compacto Barrera-Cardoso et al. (2022).

### Figura 6

#### *Modelo Taiwán*



*Fuente.* García, Alamo, 2017.

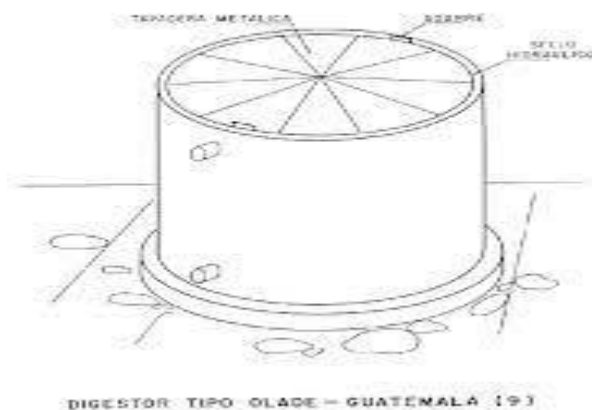
#### **Modelo Batch**

“El modelo Batch opera de manera discontinua y se clasifica como un biodigestor de primera generación. Su funcionamiento implica la introducción de una carga de materia orgánica que se retira al finalizar el tiempo de retención hidráulica (TRH)” (Velásquez & González, 2022), debido a su carácter discontinuo, la calidad del biogás puede variar de buena a mala, ya

que no es posible controlar los niveles durante el tratamiento. “Estos biodigestores son de construcción sencilla y tienen una vida útil que oscila entre 3 y 10 años. Pueden fabricarse en tamaños pequeños, incluso desde bidones de 0.1 m<sup>3</sup>, lo que los hace muy accesibles” (Velásquez & González, 2022), sin embargo, requieren ciertos componentes como batería, agitador o sensores, lo que los hace bastante dependientes de una fuente de energía constante durante su operación. “En situaciones óptimas, estos digestores pueden generar hasta 0.9 m<sup>3</sup> de biogás por día y son conocidos por utilizar menos agua, con una relación de 1:1 o incluso menor” (Velásquez & González, 2022), debido a que en cada ciclo deben vaciarse, evitando la necesidad de diluir completamente la materia y reduciendo así el riesgo de obstrucciones (p. 11).

### **Figura 7**

#### *Modelo Batch*



*Fuente.* Barrera-Cardoso et al.2022.

#### ***Valoración de las Alternativas***

Según Español Avilez & Osorio González, (2022), para la elección de la tecnología y teniendo presente una secuencia o flujo que permita tener una idea clara de cada uno de los

parámetros requeridos para la funcionalidad del sistema y los factores asociados a cada uno de los digestores evaluados en el proceso de selección de este trabajo de investigación.

Según el diseño de las tecnologías, se asigna una puntuación donde 10 representa el valor más alto, 6 el valor medio y 2 el valor bajo. La evaluación se basa en la capacidad de mejora y eficiencia de acuerdo con ciertos criterios predefinidos.

**Principio de diseño.** Es la variable que hace referencia al tipo de alimentación que necesita el biodigestor.

**Componente de biodigestor.** Material que se requiere para la construcción.

**Instalación de seguridad.** Cuanto se debe asegurar en el entorno del sistema del biodigestor.

**Componente manómetro y componente agitador y mezclador.** Partes requeridas para lograr un buen funcionamiento.

**Usos recomendados.** La mejor opción para temperaturas altas.

**Vida útil.** Periodo en el que se espera utilizar el biodigestor

**Conductividad térmica.** Propiedad física de los materiales que mide la conducción del calor.

**Tabla 4***Valoración*

Diseño	Biodigestor Hindú	Biodigestor Chino	Biodigestor Taiwán	Biodigestor Batch
Principio de diseño	10	2	10	6
Digestor/Almacén del gas	2	2	10	10
Instalaciones de seguridad	10	10	4	10
Componente: Manómetro	6	2	10	2
Componente: Agitador y Mezclador	10	10	10	2
Usos recomendados	6	2	10	6
Eficiencia	Biodigestor Hindú	Biodigestor Chino	Biodigestor Taiwán	Biodigestor Batch
Vida útil prevista	6	10	2	2
Conductividad térmica (W/(m*k))	10	10	6	2
TOTAL	60	48	62	40

*Fuente.* Propia.

Luego de la valoración se realiza aplicar el método *TOPSIS*, que fue desarrollado por Hwang y Yoon (1981) “ranking en la concepción y aplicación debido a que este método intenta elegir alternativas que simultáneamente tienen la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más alejada de la solución ideal negativa”.

Para evaluar la viabilidad de cada biodigestor y llevar a cabo el método *TOPSIS*, es esencial cuantificar y asignar rangos a los criterios de diseño y eficiencia. Esta medida proporciona una base objetiva para comparar y clasificar las alternativas, facilitando así la identificación de la opción más viable; de acuerdo a esto se le dieron los siguientes valores, teniendo en cuenta que los valores fueron dados por las autoras.

- Eficiencia 60%
- Diseño 40%

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j^m} = 1(x_{ij})^2}$$

**Tabla 5**

*Matriz de Evaluación*

Alternativa	Diseño	Eficiencia
Hindú	0.5367	0.2230
Chino	0.3416	0.2094
Taiwán	0.6343	0.2518
Batch	0.4392	0.2738

*Nota.* Al aplicar la ecuación operativa, se obtienen los resultados individuales de cada alternativa en términos de diseño y eficiencia. Esto facilita la identificación de la mejor alternativa al comparar y evaluar sistemáticamente los valores obtenidos. *Fuente.* Propia

Esta estrategia busca seleccionar opciones que se encuentren lo más cerca posible de la solución ideal positiva y, al mismo tiempo, distantes de la solución ideal negativa.

$$\bar{v}_{ij} = w_j * \bar{n}_{ij}$$

**Tabla 6**

*Matriz de Valor Ponderado*

Alternativa	Diseño	Eficiencia
Hindú	0.1073	0.2115
Chino	0.0683	0.1047
Taiwán	0.1269	0.1759
Batch	0.0878	0.1269

*Nota.* Para la realización de este segundo paso, se multiplicó cada valor  $n_{ij}$  obtenido en el paso anterior, por el peso porcentual del criterio asignado. *Fuente.* Propia

En el paso tres se encuentra la solución ideal positiva y la solución ideal negativa a partir de todas las alternativas para cada criterio.

- $\bar{A}^+ = \{(max\bar{v}_{ij})(min\bar{v}_{ij})\}$
- $\bar{A}^- = \{(min\bar{v}_{ij})(max\bar{v}_{ij})\}$

$A^+$  representa el conjunto de valores que son considerados ideales y positivos, mientras que  $A^-$  representa el conjunto de valores que son considerados ideales pero negativos.

**Tabla 7***Soluciones Ideales*

Alternativa	Diseño	Eficiencia
A+	0.1269	0.2115
A-	0.0683	0.1269

*Nota.* De acuerdo a los valores previamente mencionados, se ha identificado la solución óptima positiva y la solución óptima negativa a partir de todas las opciones para cada criterio. *Fuente.* Propia

En el siguiente paso se aplican las ecuaciones que se muestran continuación para calcular ambas distancias.

$$d_{i+} = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{i+})^2}$$

$$d_{i-} = \sqrt{\sum (v_{ij} - v_{i-})^2}$$

**Tabla 8***Medidas de distancia*

Alternativa	Alternativa Ideal	Alternativa Antideal
Hindú	0.1648	0.1541
Chino	0.2499	0.0326
Taiwán	0.0356	0.2676
Batch	0.2780	0.0195

*Nota.* La tabla 8 muestra la separación de cada alternativa en relación con la solución ideal positiva (A+) y la solución ideal negativa (A-), calculadas utilizando las ecuaciones mencionadas anteriormente para determinar ambas distancias. *Fuente.* Propia



Para finalizar se calculó el índice de similitud con la ecuación que se muestra a continuación, puesto que algunas alternativas disponen de una distancia más corta respecto de la solución ideal positiva, pero otras se encuentran más lejos de la solución ideal negativa.

$$Ri = \frac{di (-)}{di (+) + di(-)}$$

- Di (-): distancia ideal negativa
- Di (+): distancia ideal positiva

**Tabla 9**

*Proximidad Relativa*

Alternativa	Alternativa Ideal	Alternativa Antideal	Proximidad Relativa
Hindú	0.1648	0.1541	0.4832
Chino	0.2499	0.0326	0.1153
Taiwán	0.0356	0.2676	0.8826
Batch	0.2780	0.0195	0.0656

*Nota.* Los valores que arroja la ecuación mencionada anteriormente es la proximidad relativa de las alternativas. *Fuente.* Propia

**Tabla 10**

*Proximidad Relativa de las Alternativas*

1	Hindú	0.4832
2	Chino	0.1153
3	Taiwán	0.8826

4	Batch	0.0656
---	-------	--------

*Nota.* La tabla 10 es la relación de resultados de la proximidad relativa de las alternativas realizada en la tabla 9. *Fuente.* Propia

A través de la metodología de la técnica multicriterio TOPSIS, y considerando la completa caracterización del entorno, se determinó que la opción más idónea para un biodigestor de uso doméstico en zonas residenciales es el tipo Taiwán. Esta elección se fundamenta en su eficacia técnica, y en aspectos como la ubicación geográfica, cantidad de habitantes, naturaleza de la materia prima disponible y condiciones climáticas, entre otros. Destaca por su asequible costo y la posibilidad de ser instalado directamente por los usuarios, proporcionando una solución práctica y económicamente viable. Este biodigestor opera eficientemente en el régimen semicontinuo o continuo, optimizando el aprovechamiento diario de residuos orgánicos. No obstante, es crucial tener presente que su principal limitación radica en su vida útil, que coincide con la duración de la cámara de biodigestión, comúnmente construida con neopreno o PVC, y se estima en un promedio de 10 años FAO. (2014).

### **Biodigestor Taiwán**

Este biodigestor tiene una estructura tubular sellada fabricada con bolsas de polietileno o geomembranas de PVC. Esta estructura cuenta con una entrada para material orgánico y una salida para expulsar el material descompuesto. La unidad de fermentación se divide en dos partes: una fase líquida y una fase gaseosa. La fase líquida consiste en una mezcla de agua y residuos orgánicos en una proporción de 4:1 respectivamente, representando el 75% del volumen total de la unidad. Por otro lado, la

fase gaseosa está compuesta principalmente por metano producido por la fase líquida y constituye el 25% restante del volumen total. La fase gaseosa forma una "campana" en la parte superior del biodigestor, donde se coloca una salida de gas para facilitar la transferencia del metano fuera de la unidad. Este tipo de biodigestor se caracteriza por ser semicontinuo, horizontal y de tipo chorizo.

El biodigestor tiene la capacidad de procesar una amplia variedad de materia orgánica que puede descomponerse de forma anaeróbica. Esta materia orgánica incluye excrementos, orina, residuos animales como sangre, tejido, grasa y contenido digestivo, así como residuos vegetales y humanos. El tiempo requerido para el proceso, conocido como período de retención, puede variar entre 25 y 50 días.

El gas generado tiene la posibilidad de ser almacenado de manera independiente en un gasómetro. Una ventaja asociada al uso de plástico como material de construcción es que la estructura del biodigestor se vuelve más delgada, lo que facilita su calentamiento a través de la radiación solar. Esta cualidad contribuye a mantener temperaturas internas promedio del biodigestor entre 2 y 7 °C más altas en comparación con un biodigestor de cúpula fija. Como resultado, se incrementa la tasa de producción de biogás. Sin embargo, es esencial que el material del biodigestor sea resistente a la radiación ultravioleta, ya que esta podría desactivar las bacterias metanogénicas.

*Componentes del Biodigestor Taiwán*

**Tabla 11**

*Componentes del Biodigestor Tipo Taiwán*

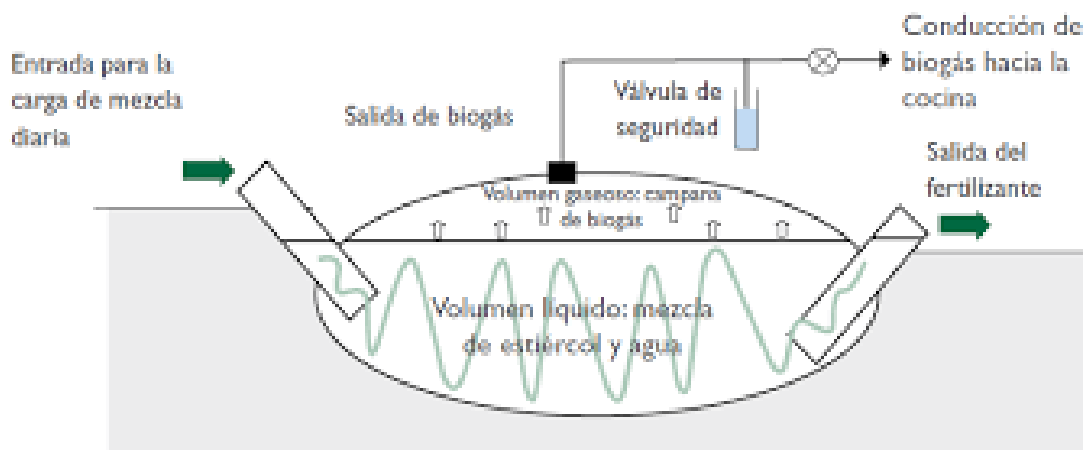
Componente	Función	¿Obligatorio?
Zanja	Se hace en la tierra, dónde se le da forma a la bolsa y también sirve como aislante térmico.	Si
Reactor	Es una bolsa de plástico que en su interior tendrá la materia orgánica que será procesada para su digestión, puede ser de polietileno (PE) o geo membrana de policloruro de vinilo (PVC), está última es más resistente pero su precio es mayor.	Si
Tuberías	Su función es conducir el gas desde el reactor hacía algún equipo donde se pueda comprobar que efectivamente se obtuvo el biogás, normalmente el material de que están hecho es PVC.	Si
Válvulas	Pueden estar en cualquier lado de la tubería, una de ellas es la válvula de seguridad, que se encarga de mantener la presión del reactor constante, evitando algún daño del reactor en caso del poco uso del biogás y la entrada de aire al biodigestor como sus principales funciones.	Si
Manómetro	A pesar de no ser Su función principal es controlar la producción de biogás.	No
Invernadero	“Se usa en regiones frías de la sierra o altiplano para poder elevar la temperatura del reactor y evitar el helamiento de la materia orgánica”. <sup>b</sup>	No

*Fuente.* García, Álamo y Aldana, 2017; Español y Osorio, 2022

Estos biodigestores son de bajo costo y la tecnología ha sido ampliamente desarrollada y desplegada en países del sudeste asiático. Sin embargo, en América del Sur, solo países como Cuba, Brasil y Costa Rica están desarrollando esta tecnología. Por lo tanto, estos modelos de biodigestores domésticos, construidos con mangas tubulares de polietileno y materiales simples y económicos, se consideran una opción viable para el tratamiento de residuos orgánicos

### Figura 8

#### *Biodisgestor Tipo Taiwán en Colombia*



*Fuente.* “Construcción y Características de Biodigestores”, 2020.

#### ***Inclinación***

La disposición del biodigestor tubular requiere una inclinación específica, que debe dirigirse desde la entrada hacia la salida del biodigestor, con el objetivo de facilitar el flujo adecuado de la mezcla. Esta disposición también posibilita la separación longitudinal de las fases de acidogénesis y metanogénesis (Rajendran et al.2012). Es esencial que esta inclinación no exceda los 2 o 3 grados, ya que una inclinación mayor ocasionaría que la mezcla circule demasiado rápido a través del digestor (Arnott, 1985).

### ***Tamaño del Biodigestor***

Las dimensiones las cuales tiene que manejar el biodigestor en cuestiones de volumen. Dentro de los factores a valorar en el Diseño del biodigestor, se determinó evaluar el factor temperatura, dado que este factor es el determinante a la hora de evaluar los días de retención de los residuos dentro de polietileno. El volumen necesario del biodigestor debe ser de 5 m<sup>3</sup>).

### ***Temperatura***

Dicho anteriormente en la matriz de evaluación de alternativas, se demostró la importancia de la temperatura dentro del proceso de descomposición de los residuos orgánicos, que de la mano conlleva el tiempo de retención y en sí, el diseño del biodigestor.

Con base en este factor fundamental es que se desarrolla el estudio y se define el tiempo por el cual el material se demora en atravesar todo el biodigestor. Todo esto centrado en la razón de que la digestión anaerobia que allí se desarrolla en las mejores condiciones cuando los microorganismos crecen y actúan de forma más eficaz y veloz, en otras palabras, si la zona de estudio mantiene en su temperatura anual un valor arriba de los 24 °C, la digestión es más rápida y por ende el tiempo de retención es menor, lo que conlleva a que se logre obtener una mayor cantidad de biogás en un menor tiempo. (Chará & Pedraza, 2002).

**Tabla 12***Tiempo de Retención Necesario en Biodigestores*

Piso Térmico- Temperatura Ambiental Promedio	Días de Tiempo de Retención
Frio – menos de 18 °C	20 a 25 días

*Fuente.* Chará & Pedraza, 2002.

***Cantidad de Residuos Orgánicos***

Para esto se tiene en cuenta para la alimentación del biodigestor, que según la FAO en el Manual del biogás (2011) para biodigestores de tipo familiar el 75% de la capacidad del tanque o bolsa corresponde a una mezcla homogénea de agua y los residuos sólidos orgánicos, mientras el 25% restante corresponde a la cámara de aire donde se almacenará el gas resultante de la fermentación. Partiendo de esta información se representan los resultados en tabla, por medios de las fórmulas presentadas en la metodología de trabajo.

**Tabla 13***Condiciones de Alimentación del Biodigestor*

Aspecto	Valor
Carga inicial	3750 L
Carga inicial de residuos orgánicos	1875 Kg
Carga diaria	294,11 L/día
Carga diaria de residuos orgánicos	147,05 Kg/día
Carga mensual de residuos orgánicos	6286,5 Kg/mes

*Fuente.* Buitrago,2019.

### **Análisis de Costos y Viabilidad Económica**

En esta fase, se utilizó la información recopilada en el paso anterior para realizar un análisis detallado de los costos y la viabilidad económica del biodigestor de tipo Taiwán. Se examinó en detalle los costos financieros de la implementación de este biodigestor, incluida la inversión inicial, los gastos operativos y los posibles ahorros de su uso. Este análisis nos permitirá evaluar completamente la sostenibilidad económica del proyecto y determinar si el biodigestor taiwán es una opción viable y rentable para la comunidad.

### ***Ubicación y Dimensión***

Dentro de las especificaciones de ubicación que debe cumplir el biodigestor en el área de estudio, están que, se debe encontrar en un lugar central donde la recolección de los residuos orgánicos le sea cercana, de preferencia que se pueda llegar a él por cuestión de la gravedad.

Se realiza un análisis de costos para determinar la inversión inicial y los costos operativos y de mantenimiento asociados a la implementación del sistema de biogás estimando los posibles ahorros derivados del uso del biogás en lugar de leña.

### **Análisis Económico**

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del biodigestor requiere la consideración de una variedad de elementos, uno de los cuales es el volumen, que se determina por la carga diaria, que a su vez depende de la disponibilidad de materia orgánica y las dimensiones del biodigestor. Estas medidas varían según la cantidad de biogás que se quiere producir, ya sea diaria o semanal.



Para seleccionar la membrana adecuada, se examina la disponibilidad de varios tipos de plásticos en el mercado después de determinar el volumen del biodigestor y el área requerida para las zanjas. Para calcular la longitud necesaria para alcanzar el volumen requerido, se deben tomar en cuenta los cálculos de circunferencias y radios. Esto se debe hacer teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de espacio.

Aparte de la membrana y el componente estructural del biodigestor, es importante considerar los costos de las diferentes partes necesarias para la construcción e instalación, como tuberías, válvulas, codos y los instrumentos necesarios para controlar condiciones como el pH, la temperatura y el flujo, entre otras. A pesar de esto, es imperativo que los costos de fabricación sean bajos en el diseño del biodigestor, debido a que el público objetivo del proyecto son familias de la vereda del Totumo, y la intención es evitar que la construcción del biodigestor se vea obstaculizada por los elevados costos.

Un material idóneo para revestir los invernaderos es aquel que posee las siguientes características:

Dejar pasar durante el día la radiación solar para calentar el suelo y paredes del invernadero e impedir por la noche que salga el calor almacenado en la misma.

Estar dotado de protección frente a la radiación ultravioleta, para evitar que se deteriore rápidamente.

El plástico más comúnmente empleado en invernaderos es el polietileno térmico y estabilizado. Este material previene la pérdida de calor en el invernadero, ofrece protección contra la radiación UV y, además, resulta más económico que el vidrio.

Adicionalmente, se aconseja realizar mejoras en la retención de calor a través del aislamiento de pisos y paredes. Para garantizar el óptimo rendimiento del digestor, es crucial cumplir con las siguientes condiciones:

Se debe producir un efecto pistón con cada carga, dando como resultado un flujo vertical. El pozo de carga se construye a un nivel superior al nivel del líquido en el digestor para lograr esto.

Que haya poco depósito de lodos en el fondo del digestor. Esto se logra construyendo el piso en forma cónica.

Que la temperatura interior sea mayor que la temperatura del ambiente. Se consigue construyendo un invernadero cobertor del digestor.

Que los esfuerzos estructurales sean mínimos. Esto se consigue construyendo las paredes con refuerzos de fierro y de forma semiesférica.

Que haya espacio disponible para almacenar la producción de biogás (que es continua) en horas en que no hay consumo. Esto se logra de dos maneras: (1) realizando una apertura dentro del digestor a nivel de operación, que equivale al 15% de su volumen bruto; y (2) construyendo un depósito externo, que puede estar hecho de polietileno o seda.

*Dimensión***Tabla 14***Dimensión*

	Dimensionamiento
Volumen del depósito	5 m <sup>3</sup>
Diámetro interno	2.34 m
Diámetro externo	2.44 m
Grosor del domo	0.05 m
Grosor de la placa inferior	0.05 m
Grosor del material aislante	0.02 m
Volumen del gas producido	5 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención TR	25 -50 días
Altura del conducto de carga	1.5 m
Altura del tubo de carga	1.8 m
Altura del conducto de descarga	1.8 m
Volumen de la semiesfera	4.19 m <sup>3</sup>
Volumen de carga diaria	$96 \frac{kg}{día} = 0.096 \frac{m^3}{día}$
Volumen de pozo de carga	0.50 m <sup>3</sup>
Volumen del pozo de descarga	0.31 m <sup>3</sup>
Volumen total	9.19 m <sup>3</sup>
Volumen del gas almacenado	5 m <sup>3</sup>
Volumen diario de carga	$\frac{V_T}{TR} = 0.096 \frac{m^3}{día} \rightarrow 96 \frac{kg}{día}$

*Fuente. Propia*

### ***Herramientas y Materiales***

La construcción del biodigestor tipo Taiwán se llevará a cabo utilizando herramientas de construcción convencionales, como pico, pala y plomada, entre otras. La precisión en las dimensiones y la instalación adecuada de los componentes dependen de estas herramientas. Además de los instrumentos, se requieren materiales como neopreno o PVC para construir la cámara de biodigestión y polietileno térmico y estabilizado para cubrir el biodigestor. Para garantizar la durabilidad y eficiencia del biodigestor en su función de producción de biogás, es esencial elegir las herramientas y materiales adecuados.

*Dimensión***Tabla 15***Dimensión*

Volumen del Prototipo		5 m <sup>3</sup>
Materiales		Cantidad
Biodigestor		
Bolsa plástica de polietileno transparente, de 16 milésimas de grosor y dimensiones (10m largo y 2.5m de ancho (Semicircunferencia))	1	
Gasómetro (V gasómetro = 1.5 m <sup>3</sup> )	1	
Tanque de entrada de 1 m <sup>2</sup> de área lateral total (50 x 50 x 50 cm)	1	
Tanque de salida de 1.5 m <sup>3</sup> y 5m <sup>2</sup> de área lateral total (1.5 x 1 m x 1 m)	1	
Tubería de alimentación y de descarga del biodigestor		
Tubería de PVC (desagüe) de 4" y de 3 m de largo	2	
2 reguladores de Presión		
Codos de PVC de 45° de ¾"	4	
Tee de PVC de ¾"	2	
Pegamento PVC	1	
Bote Silicón rojo	1	
Codos de PVC ½"	2	
Adaptador macho PVC de ¾	1	
Adaptador hembra PVC de ¾"	1	

---

Conducción de biogás	20 tubos (100 m)
Tubo de PVC-P de ¾" y 5 m de largo	
tritrador de residuos orgánico	1
Filtro de sulfuro de hidrogeno	
Unión mixta sp/rosca de PVC de ¾"	2
Reducción con rosca externa de PVC de 2" a ¾"	2
Unión universal con rosca interna de PVC de 2"	2
Adaptador macho de 2"	2
Tubo de PVC de 2" y 3 m de largo	1
Viruta metálica (kg)	5
Tubos PVC de ½ de 6 m de largo	3
Impermeabilizante	2
Pegamento y teflón para unión de tubos de PVC	Kit
Polietileno expandido	12m*3m*0.6m
Llaves de pase de PVC de ½"	2
Botella plástica de 2 litros (válvula de escape del gas)	1
Plástico aislante (Fosa)	1
Válvulas	2

---

---

Equipos

- multímetro digital
- Higrómetro digital
- Radiómetro
- Termómetro
- Ph-metro
- Termorresistencias
- Termocuplas Cu-Constantan
- Manómetro

Herramientas de construcción

- Pico
- Pala
- Plomada
- Alicates
- Taladro
- Martillo
- Cinta métrica
- Tijeras
- Sierra

---

*Fuente. Propia.*

***Materiales y Costos*****Tabla 16***Materiales y su Cantidad*

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Biodigestor		345.000	345.000
Bolsa plástica de polietileno transparente, de 16 milésimas de grosor y dimensiones (10m largo y 2.5m de ancho (Semicircunferencia))	1	20.000	20.000
Gasómetro (V gasómetro = 1.5 m <sup>3</sup> )	1	325.000	325.000
Tanque de entrada de 1 m <sup>2</sup> de área lateral total (50 x 50 x 50 cm)	1	618.900	618.900
Tanque de salida de 1.5 m <sup>3</sup> y 5m <sup>2</sup> de área lateral total (1.5 x 1 m x 1 m)	1	618.900	618.900
Tubería de alimentación y de descarga del biodigestor	2	49.950	99.900
Tubería de PVC (desagüe) de 4" y de 3 m de largo	2	23.900	47.800
2 reguladores de Presión			



Codos de PVC de 45° de ¾"	4	1.950	7.800
Tee de PVC de ¾"	2	1.850	3.700
Pegamento PVC	1	21.900	21.900
Silicona	1	25.900	25.900
Codos de PVC ½"	2	350	700
Adaptador macho PVC de ¾	1	1.000	1.000
Adaptador hembra PVC de ¾"	1	1.150	2.300
Conducción de biogás	17 tubos (100 m)	24.900	423.300
Tubo de PVC-P de ¾" y 6 m de largo			
tritrador de residuos orgánico	1	1.999.900	1.999.900
Filtro de sulfuro de hidrogeno		224.900	224.900
Unión mixta sp/rosca de PVC de ¾"			
Reducción con rosca externa de PVC de 2" a ¾"	2	3.900	7.800
Unión universal con rosca interna de PVC de 2"	2	3.900	7.800
Adaptador macho de 2"	2	37.900	75.800
Tubo de PVC de 2" y 3 m de largo			
Viruta metálica (kg)	2	5.900	11.800
	1	21.900	21.900

---

	5	525.000	525.000
Tubos PVC de ½ de 6 m de largo	3	10.400	31.200
Impermeabilizante	1	142.900	142.900
Teflón para unión de tubos de PVC	1	12.750	12.750
Polietileno expandido	12m*3m*0.6m	204.900	204.900
Botella plástica de 2 litros (válvula de escape del gas)	1	-	-
Plástico aislante (Fosa)	1	18.900	18.900
Válvulas	2	10.900	21.800
Total			5.868.540

---

*Fuente. Propia*

***Mano de Obra*****Tabla 17***Costos Mano de Obra*

Descripción	Personas	Día-personal	N° días	Total
Elaborar un biodigestor	2	\$62.298	24	\$2.999
Construir las unidades de descarga y carga	2	\$62.300	7	\$872.185
Total	4		31	\$3.862.534

*Nota.* Para lo anterior se tomó en cuenta el salario mínimo 2023 en Colombia.

*Fuente.* Propia

De acuerdo con el análisis de los costos mencionados anteriormente en el que se puede observar que la inversión inicial quedaría de la siguiente manera:

**Tabla 18***Inversión Inicial*

Descripción	Valor
Costo de materiales equipos	\$5.868.540
Costo de Mano de obra	\$3.862.534
Total	\$9.731.074

*Fuente.* Propia

***Beneficios Económicos Directos del Uso de Biodigestores en un Año.***

**Tabla 19**

*Beneficios*

Beneficios	Valor
<b>Biogás como medio de combustión</b>	
Capacidad de producción de biogás (m <sup>3</sup> /año)	\$205.311
El resultado neto de la combustión de combustible fósil en litros de diésel	\$112.914
El precio comercial del combustible fósil por unidad de combustible (COP/Lt)	\$3715
Ahorro total anual por la utilización de biogás (COP)	\$419.426.970
<b>Efluente como fertilizante</b>	
Nitrógeno (COP/año)	\$75.421
Fosforo	\$44.257
Potasio	\$92.479
Ahorro anual total por el uso de desechos COP	\$212.157
Beneficios directos totales al año	\$419.639.121

*Fuente. Propia*

***Beneficios del uso de un digestor durante dos décadas***

Es crucial destacar que se incorporó un descuento anual del 5 % en la fórmula de interés compuesto para calcular el valor futuro. Este descuento constituye una estrategia utilizada para evaluar proyectos en los cuales los costos y beneficios experimentan cambios a lo largo del tiempo.

De acuerdo a Picazo (2023) se especificó la siguiente ecuación para determinar los beneficios.

$$VF = VA * (1 + i)^n$$

VF= Valor futuro

VA =Valor anual o inicial

n= Número de anualidad o periodo

i= Descuento anual

**Tabla 20***Beneficios Económicos*

Beneficios	Tiempo en Años				
	0	1	2	5	10
Valor de biogás	\$419.426.965	\$440.398.313	\$462.418.228	\$535.306.901	\$683.202.329
Valor del efluente	\$212.156	\$222.765	\$233.903	\$270.772	\$345.581
Beneficios totales	\$419.639.121	\$440.621.077	\$462.652.131	\$535.530.960.883	\$683.547.909
<i>Costos</i>					
Materiales y equipos	\$5.868.540				
Mano de obra	\$3.862.534				
Costos totales	\$9.731.074				
Beneficios Netos por año	\$409.908.038				

*Fuente. Propia*

“En términos económicos los beneficios que presenta la utilización del biodigestor significan un ahorro en el primer año \$409.908.038 para una producción de 0.5 m<sup>3</sup> de biogás por día, considerando que en menos de cuatro años se podrá recuperar la inversión inicial” (Picazo, 2023).

### **Contextualización de los Efectos Ambientales**

Durante esta parte importante del proyecto, se analizó los efectos ambientales potenciales, tanto positivos como negativos, que podrían surgir al implementar el sistema de biogás en la vereda Totumo. Este paso es crucial para fomentar prácticas sostenibles y garantizar que nuestro enfoque completo y sistemático alcance los objetivos de la investigación. Se busca garantizar la toma de decisiones informadas y la implementación exitosa del sistema mediante un marco metodológico sólido, contribuyendo al desarrollo sostenible de la comunidad en la vereda de Totumo.

Para el cumplimiento de esta fase se realizó una matriz de contextualización de los efectos ambientales.

**Tabla 21***Matriz de Contextualización de los Efectos Ambientales.*

Aspecto Ambiental	Efecto Positivo / Negativo	Estrategias y Beneficios	Contexto de implementación
Emisión de Gases Efecto Invernadero	Positivo	La implementación de biogás y digestión anaeróbica contribuye positivamente a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, mejorando la salud y disminuyendo la deforestación (J. Martí-Herrero et al., 2014).	Vereda Totumo en Pamplona, Norte de Santander. Problema inicial: Dependencia de leña para cocinar.
Mitigación de CO2 en Latinoamérica	Positivo	El uso de residuos en la producción de biogás ayuda a mitigar aproximadamente 316 millones de toneladas de CO <sub>2</sub> equ. al año, ofreciendo una solución sostenible en la región (Surendra, s/f).	Latinoamérica, específicamente en comunidades rurales con desafíos ambientales.
Reducción de Consumo de Leña	Positivo	El biogás ha reducido globalmente el consumo de leña y carbón entre el 66 y el 80%, siendo una alternativa eficiente y amigable con el medio ambiente (REN21, 2017).	Vereda Totumo en Pamplona, Norte de Santander, con limitaciones en acceso a gas natural o propano.
Ahorro de Leña por Familia	Positivo	Se estima que el uso de biogás puede generar un ahorro de leña significativo, aproximadamente 1.88 toneladas al año por familia, promoviendo la	Comunidades rurales con hábitos arraigados en el uso de leña para cocinar.



eficiencia en el uso de recursos (M. Garfí, 2012; H. Katuwal, 2009).

Impacto en Salud Respiratoria	Positivo	Las estufas de biogás han demostrado reducir enfermedades respiratorias, como infecciones agudas y cáncer de pulmón, al disminuir la inhalación de humo en cocinas (N. Bruce, 2000; H. Katuwal, 2009).	Vereda Totumo, donde la inhalación de humo afecta la salud de los residentes.
Sustitución de Fertilizantes Sintéticos	Positivo	El uso de digestato sólido en la agricultura puede reemplazar fertilizantes sintéticos, reduciendo emisiones y contribuyendo a una gestión más sostenible de los residuos (A. Muscolo, 2017; G. Kaur, 2014).	Áreas agrícolas circundantes a la vereda Totumo.
Reducción de Efectos Ambientales Adversos	Positivo	Una gestión adecuada de residuos puede mitigar la eutrofización y otros efectos adversos, aunque se deben tomar precauciones en todas las etapas de la producción (S. Ruile, 2015; M. Poeschl, 2012).	Entorno ambiental y suelos en la vereda Totumo.
Emisión de Metano	Negativo	Mantenimiento regular y tecnologías actualizadas para reducir fugas.	Biodigestor en zona rural (vereda Totumo) para producción de biogás.

---

Gestión de Residuos	Negativo	Prácticas de gestión de residuos y capacitación en manejo apropiado.	Vereda agrícola (Totumo) con enfoque en sostenibilidad.
Consumo de Recursos	Negativo	Selección de materiales sostenibles y eficiencia energética.	Implementación de biodigestor en zona periurbana (Pamplona).
Cambio en Prácticas Agrícolas	Negativo	Evaluación del impacto y prácticas agrícolas compensatorias.	Aplicación en entorno agrícola diversificado (Totumo).
Riesgos de Salud Pública	Negativo	Protocolos de manejo seguro y educación sobre riesgos.	Comunidad rural (Totumo) con énfasis en seguridad y educación.

---

*Fuente. Propia.*

Esta matriz proporciona una comprensión de los componentes ambientales, sus efectos, las estrategias sugeridas y el contexto específico de aplicación. La estructura detallada facilita la comprensión y planificación de las medidas adecuadas para reducir los efectos adversos y optimizar los resultados positivos en el entorno de implementación específico.

## Conclusiones

Tras un minucioso estudio, se confirma que la vereda del Totumo cuenta con una abundancia de residuos orgánicos, respaldando la viabilidad de la producción de biogás como una alternativa sostenible. La disponibilidad adecuada de estos materiales es esencial para garantizar un suministro constante de materia prima para el proceso de generación de biogás.

En cuanto a la selección de la tecnología, tras analizar diversas opciones, se llega a la conclusión de que el biodigestor tipo Taiwán se erige como la elección más acertada para la vereda del Totumo. Este modelo exhibe una eficiencia destacada, sino que también destaca por su atractiva relación costo-beneficio, lo que lo convierte en la opción más idónea para la implementación exitosa del proyecto.

La evaluación técnica y económica refuerza la viabilidad del proyecto de producción de biogás en la vereda del Totumo. Además, a través de un análisis económico detallado, se determinó la viabilidad financiera del proyecto, considerando tanto la inversión inicial como los potenciales ahorros derivados del uso de biogás en lugar de leña, consolidando aún más su factibilidad económica y su capacidad para ser una solución sostenible y asequible para la comunidad.

Más allá de la viabilidad técnica y económica, este proyecto destaca por su impacto positivo tanto en la sostenibilidad ambiental como en el bienestar de la comunidad. La reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora en la gestión de residuos orgánicos son elementos clave que demuestran su contribución positiva a nivel medioambiental y comunitario.

Finalmente, este estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental cobra relevancia en el contexto local de la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander. No solo aborda desafíos específicos de la comunidad, como la contaminación del aire y el uso de leña, sino que también presenta un potencial modelo para otras regiones que enfrentan problemáticas similares. La implementación exitosa de este sistema de biogás no solo transforma la realidad local, sino que también ofrece perspectivas esperanzadoras para comunidades enfrentadas a desafíos ambientales y energéticos similares.

### **Recomendaciones**

Se recomienda dar inicio al proceso de búsqueda de financiamiento para el proyecto de producción de biogás

Se sugiere desarrollar y poner en práctica un plan de gestión integral para los subproductos tóxicos que podrían surgir durante el proceso de biodegradación. Este plan deberá incluir medidas específicas para la identificación, segregación, tratamiento y disposición final segura de cualquier subproducto con potencial toxicidad.

Se aconseja la implementación de un sistema de gestión de residuos que garantice una alimentación ininterrumpida del biodigestor. Para lograr esto, se sugiere incorporar prácticas de separación de residuos en la fuente. Establecer un proceso eficiente de segregación permitirá optimizar la composición de los materiales orgánicos alimentados al biodigestor, mejorando así su rendimiento y prolongando su vida útil. Además, esta estrategia contribuirá a maximizar la eficacia del sistema de biogás y a minimizar posibles impactos ambientales negativos.

### Referencias Bibliográficas

Acosta, Y. L., & Obaya Abreu, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>

Arboleda, L., & González, L. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Universidad Nacional de Colombia.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ávila-Hernández, M., Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F.

(2022). Generación de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos biodegradables en el Tecnológico de Costa Rica, sede Cartago. *Revista de Gestión Ambiental*, 15(3), 123-145.

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822018000200159](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822018000200159)

Barona Balanta, A. L., & Torres Álvarez, Y. (2016). Evaluación multicriterio de la tecnología más adecuada para la generación de biogás a partir de los residuos sólidos. Universidad del Valle.

<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/0b9129bc-42be-4228-8ae8-3e98ce6c2a57/content>

Barrera-Cardoso, E. L., Odales-Bernal, L., Carabeo-Pérez, A., Alba-Reyes, Y., & Hermida-García, F. O. (Fecha de publicación). Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural.

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852020000200303](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000200303)

Begon, M., Colin, R., Townsend, J., & Harper, L. (2006). The Flux of Energy through Ecosystems. In *Ecology, from Individuals to Ecosystems* (4th ed., pp. 738). Blackwell

- Publishing. [http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo\\_thumb/Ecology-From-Individuals-to-Ecosystems-by-Michael-Begon--2006-.pdf](http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Ecology-From-Individuals-to-Ecosystems-by-Michael-Begon--2006-.pdf)
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
- <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- Brundtland, W. (1987). El Desarrollo Sostenible. <https://urjconline.atavist.com/2022/11/03/el-desarrollo-sostenible>
- Castells, X. E., & Alsina, S. B. (2012). Energía, agua, medioambiente, territorialidad y sostenibilidad. Diaz de Santos.
- <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788499690094.pdf>
- Colombia. Congreso de la República. (2014). Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación. (2016). Documento CONPES 3874: Política Nacional de Eficiencia Energética en Colombia. Bogotá, D.C.: DNP.
- <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Colombia. Congreso de la República. (1979). Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes y se dictan otras disposiciones. [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf)



Colombia. Congreso de la República. (1993). Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

<http://observatorioplanificacion.cepal.org/es/marcos-regulatorios/ley-general-ambiental-de-colombia-ley-99-de-1993#:~:text=La%20Ley%2099%20de%201993,la%20Naci%C3%B3n%2C%20a%20fin%20de>

Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (2007). Decreto 2501 de 2007. Por el cual se reglamenta la evaluación, clasificación y seguimiento de los proyectos de exploración sísmica, perforación de pozos exploratorios y desarrollo de campos.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=144621&dt=S>

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. (2016). Políticas de Desarrollo Sostenible en el Sector Agrícola: Un Análisis de la Situación Actual. Departamento de Desarrollo Sostenible.

[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/AA\\_26072019\\_Resol\\_Inad\\_Tramite\\_M11\\_2016.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/AA_26072019_Resol_Inad_Tramite_M11_2016.pdf)

Díaz Guío, D. S., & Salazar Cerón, L. M. (2019). Estudio de factibilidad para el diseño de un biodigestor de aprovechamiento sostenible de excretas de bovino en la Hacienda Los Naranjos, Tambo - Cauca. Bogotá: Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental.

[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2143/D%C3%ADa%20z\\_Guio\\_%20David\\_Santiago\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2143/D%C3%ADa%20z_Guio_%20David_Santiago_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Español Avilez, J. C., & Osorio González, J. S. (2022). Propuesta para el diseño de un biodigestor anaeróbico empleando llantas usadas para mejorar el tratamiento de las excretas bovinas. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, P.C. Ingeniería de Producción (Ciclos Propedéuticos).

[https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/30408/Espa%C3%B1olAvilezJhonCamilo\\_OsorioGonz%C3%A1lezJhonSmith2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/30408/Espa%C3%B1olAvilezJhonCamilo_OsorioGonz%C3%A1lezJhonSmith2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Espinosa Mantilla, K. G. (2021). Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable: Análisis del potencial de la ciudad de Quito.

<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8410/1/T3670-MCCSD-Espinosa-Biogas.pdf>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. <https://www.fao.org/3/i4595s/i4595s.pdf>

Flores, J., & Acevedo, L. (2016). Estudio de factibilidad de producción de biogás en Pueblo Rico, Risaralda, Colombia.

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7242/6581186132.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fundación Aquae. (2018). El Agua como Recurso Vital: Desafíos y Oportunidades.

Departamento de Investigación en Recursos Hídricos.

<https://www.fundacionaquae.org/wp-content/uploads/2019/03/Memoria-Fundaci%C3%B3n-Aquae-2018.pdf>

Godoy, M., Silva, M., & Palacios, J. (2018). Producción de Biogás. Desarrollo Local Sostenible, (febrero). <https://www.eumed.net/rev/delos/31/maria-godoy6.html>

- González, J., Duque, C., & Galeano, C. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Revista Ingeniería e Investigación*. <https://www.redalyc.org/pdf/643/64327316.pdf>
- Jiménez Lobo, J. (2018). Producción y valorización energética de biogás, a partir de residuos alimenticios y biomasa vegetal. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/125>
- Lu, J., & Gao, X. (2021). Biogas: Potential, challenges, and perspectives in a changing China. *Biomass and Bioenergy*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953421001641>
- Kaur, G., Brar, Y. S., & Kothari, D. P. (2017). Potential of livestock generated biomass: Untapped energy source in India. *Energies*, 10(7), 1-15.  
<https://doi.org/10.3390/en10070847>
- Magallanes Mayorga, D. I., Filian Córdova, H. D., De La Cruz García, S. T., & Santana Villegas, J. B. (2021). Efectos de la contaminación ambiental producidos por los desechos sólidos. *Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación*, 5(38), 149–155. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol5iss38.2021pp149-155>
- Marcelo-Aldana, D., & Viera-Sernaqué, J. (2017). Proyecto de implementación de sistemas biodigestores para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados por usuarios residenciales en la región Piura. Lima.  
<https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/594781dd-3a8f-4bd4-8151-05296e368d00/content>
- Martí-Herrero, J., et al. (2014). Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia. *Renew. Energy*, 71, 156-165. doi:

10.1016/j.renene.2014.05.036<https://ideas.repec.org/a/eee/renene/v71y2014icp156-165.html>

Mayorga, D. I. M., Córdova, H. D. F., García, S. T. D. L. C., & Villegas, J. B. S. (2021). Efectos de la contaminación ambiental producidos por los desechos sólidos. Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación, 5(38), 149-155.  
<https://journalprosciences.com/index.php/ps/article/view/333>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). Resolución 135 de 2012. Por la cual se establecen las disposiciones para el manejo integral de los residuos de medicamentos vencidos o deteriorados generados en establecimientos farmacéuticos y droguerías. Bogotá, D.C.: Ministerio de Salud y Protección Social.  
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=51162>

Ochoa Lopez, P. (2022). Estudio de prefactibilidad para la construcción de un biodigestor como propuesta para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos provenientes del restaurante, y del mantenimiento de zonas verdes en el Parque Industrial Corona, Sopo.  
<https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/7882/2201-001%20PG%20PAULA.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Olaya Arboleda, Y. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/10762/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf?seq>

Organización Mundial de la Salud. (2022). <https://www.who.int/es>

- Osorio, J., Ciro, H., & González, H. (2007). Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 60(2), 4145–4162. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v60n2/a17v60n2.pdf>
- Picazo, P. P. (2023, 17 enero). Valor presente y valor futuro: definición, fórmulas y ejemplos. Rankia. <https://www.rankia.cl/blog/analisis-ipsa/3345472-valor-presente-futuro-definicion-formulas-ejemplos>
- Real Olvera, J., & Islas Gutiérrez, J. (2010). Estado de arte del modelo rti, alcances y limitaciones, a partir de los estudios empíricos publicados entre los años 2014 y 2019 en américa y españa. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/46037/ESTADO%20DE%20ARTE%20DEL%20MODELO%20RTI.pdf?isAllowed=y&sequence=2>
- Rivas Solano, O., Vargas, M. F., & Guillén Watson, R. (2009). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. <file:///C:/Users/Jorge/Downloads/Dialnet-Biodigestores-4835857.pdf>
- Rodríguez, M. (2009). Etapas del análisis de factibilidad. Compendio bibliográfico. *Contribuciones a la Economía, Servicios Académicos Intercontinentales SL*, 2009(03), 1-1. <https://ideas.repec.org/a/erv/contri/y2009i2009-034.html>
- Ruile, S., Schmitz, S., Mönch-Tegeder, M., & Oechsner, H. (2015). Degradation efficiency of agricultural biogas plants - A full-scale study. *Bioresource Technology*, 178, 341-349. doi: 10.1016/j.biortech.2014.10.053. <https://www.uni-hohenheim.de/organisation/publikation/degradation-efficiency-of-agricultural-biogas-plants-a-full-scale-study>

- Seadi, T. A., Rutz, D., Prassl, H., et al. (2008). Biogas Handbook. Esbjerg, Denmark: University of Southern Denmark Esbjerg. <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846-859  
[https://www.researchgate.net/publication/274028972\\_Biogas\\_as\\_a\\_sustainable\\_energy\\_source\\_for\\_developing\\_countries\\_Opportunities\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/274028972_Biogas_as_a_sustainable_energy_source_for_developing_countries_Opportunities_and_challenges)
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) & UNAL (Universidad Nacional de Colombia). (2018). Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento.  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/18402?show=full>
- Vargas Carvajal, N. (2020). Aprovechamiento sostenible de residuos sólidos orgánicos para la generación de biogás en una finca ganadera de economía familiar en Timaná (Huila) (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).  
<http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7845>
- Velásquez-Piñas, J. A., Calle-Roalcaba, O. D., Miramontes-Martínez, L. R., & Alonso-Gómez, L. A. (2023). Evaluación económica y ambiental de las tecnologías de utilización del biogás y perspectivas del análisis multicriterio. *Revista Ion*, 36(1), 29-47.  
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/download/13548/12857/96855>
- Viejo Zubicaray, M. (2010). Energías eléctricas y renovables: Turbinas y plantas generadoras (4a ed.). México: Limusa. <https://d-nb.info/1127140000/34>

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*, 99(17), 7928-7940.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408001880>

Zapata, A. (1997). Utilización del Biogás para generación de electricidad.

[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0614\\_EA.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0614_EA.pdf)

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Entrevista*

El proceso de validación de esta entrevista se llevó a cabo mediante un enfoque semiestructurado e informal. Para garantizar la calidad y relevancia de las preguntas, el diseño inicial fue sometido a pruebas piloto, donde se realizaron ajustes según la retroalimentación recibida. Este proceso aseguró la claridad y la comprensión adecuada de las preguntas.

La validación incluyó la participación del presidente de la vereda, quien aportó su experiencia y perspectiva, así como la de varios residentes, representando así la diversidad de la comunidad. La variedad de participantes garantizó que las preguntas fueran comprensibles y pertinentes para diferentes puntos de vista y situaciones en la vereda Totumo.

La entrevista realizada abarcó un total de 29 preguntas, que se distribuyeron de manera que abordaran aspectos clave relacionados con la gestión de residuos orgánicos y la posible implementación de un sistema de biogás en la comunidad.

Este proceso de validación riguroso y la inclusión de diversas voces en la aplicación de la entrevista aseguran la calidad y la representatividad de los datos recopilados.

¿Cuáles son los principales tipos de residuos orgánicos generados en la vereda Totumo?

¿Cuánta cantidad de cada tipo de residuo se produce diaria o semanalmente?

¿Cuáles son los principales generadores de residuos orgánicos en la vereda (hogares, comercios, agricultura, etc.)?

¿Hay diferencias estacionales en la generación de residuos?

¿Cómo se gestionan actualmente los residuos orgánicos en la vereda Totumo?

¿Existen prácticas de compostaje u otros métodos de gestión?



¿Cuáles son las características de los residuos que sugieren un alto potencial para la producción de biogás?

¿Se ha realizado alguna estimación preliminar de la cantidad de biogás que podrían generar estos residuos?

¿Cómo afectan los factores ambientales locales (clima, temperatura, humedad) a la descomposición de los residuos orgánicos?

¿Existen condiciones que puedan influir en la eficiencia del proceso de producción de biogás?

¿Qué instalaciones o infraestructuras existen actualmente para el manejo de residuos en la vereda Totumo?

¿Se requerirían modificaciones o adiciones para implementar un sistema de producción de biogás?

¿Cómo afectaría la implementación de un sistema de biogás a nivel socioeconómico en la comunidad?

¿Existen posibles beneficios adicionales, como la creación de empleo o la mejora de la calidad del medio ambiente?

¿Existen experiencias previas de otras comunidades en la implementación de sistemas similares de producción de biogás?

¿Qué lecciones se pueden aprender de esas experiencias?

¿Cuáles son las regulaciones locales o nacionales que podrían afectar la implementación de un sistema de biogás?

¿Qué permisos serían necesarios y cómo se podrían obtener?

¿Estás familiarizado/a con el concepto de un biodigestor?

¿Crees que la implementación de un biodigestor ayudaría a reducir la cantidad de residuos orgánicos generados en tu hogar o comunidad?

¿Estarías dispuesto/a a separar los residuos orgánicos y depositarlos en un biodigestor en lugar de desecharlos en la basura convencional?

¿Qué beneficios ambientales crees que pueda tener la implementación de un biodigestor en tu hogar o comunidad?

¿Qué preocupaciones tendrías acerca de la implementación de un biodigestor en tu hogar o comunidad?

¿Estarías dispuesto/a a recibir capacitación sobre el adecuado manejo y mantenimiento de un biodigestor?

¿Consideras que la implementación de un biodigestor podría generar un impacto positivo en la producción de energía sustentable?

¿Te gustaría recibir información periódica sobre los avances y resultados del uso de un biodigestor en tu hogar o comunidad?

¿Estarías dispuesto/a a participar en programas de educación y concientización sobre el uso de un biodigestor y la gestión de residuos orgánicos?

¿Qué otros comentarios o sugerencias tienes acerca de la implementación de un biodigestor con residuos orgánicos?

¿Cuántos habitantes hay en la vereda del Totumo?

## Apéndice B

### Consentimiento informado



#### Anexo 2: Consentimiento Informado

Pamplona, 7 de diciembre 2023

Yo, Freddy López diaz, con número de identificación 1094241942 de pamplona actuando como Usuario autónomo, de manera libre y voluntaria, en ejercicio pleno de mis facultades.

#### Hago constar que

Una vez informado sobre los propósitos, objetivos, y procedimientos que se llevarán a cabo para realizar la encuesta para el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de un sistema de biogás como alternativa sostenible en la vereda del Totumo, Pamplona, Norte de Santander, de la ECBTI de la UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia), autorizo mi participación en la misma, así como el uso de los datos obtenidos con fines estrictamente académicos.

Declaro, adicionalmente, que se me ha informado que:

Mi participación en esta entrevista es completamente libre y voluntaria y puedo retirarme de ella en cualquier momento.

No recibiré beneficio personal de ninguna clase por la participación en este proyecto/producto, ni retribución económica alguna. Sin embargo, se espera que los



resultados obtenidos permitan incidir positivamente en los procesos de aprendizaje del curso en cuestión.

En caso de requerir mis datos personales, las fotografías, los videos y otra información, resultantes de la aplicación de la entrevista para presentación con fines estrictamente académicos, autorizo su uso, si así lo considero, a través de la firma de este documento.

Hago constar que el presente documento ha sido leído y entendido por mí en su integridad. Por lo anterior, hago constar que he sido informado a satisfacción sobre los procesos y procedimientos de la encuesta que se realizarán por parte de las estudiantes Mónica Guevara y Amanda Sierra, por tanto, doy mi consentimiento.

Firma del usuario con su respectivo documento de identidad:

**1094241942 pamplona**

**Firma y documento**



*Nota.* Consentimiento informado por parte del presidente de la junta de acción comunal de la vereda El Totumo, Pamplona, Norte de Santander.