

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.710>

## **Plan de negocio para la producción de biometano envasado en tanques, como propuesta de aprovechamiento para residuos de estiércol**

Business plan to produce packaged biomethane in tanks as a proposal for the utilization of manure waste

**Héctor Ramírez Escamilla**

hramireze1500@alumno.ipn.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-9440-4644>  
Instituto Politécnico Nacional UPIBI  
Estado de México – México

**Diego Domínguez Solís**

ddominguez1800@alumno.ipn.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-8402-5157>  
Instituto Politécnico Nacional  
CDMX – México

**Alan Ramírez de León**

Alanchavo10@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0000-5571-6039>  
Instituto Politécnico Nacional UPIBI  
CDMX – México

**Saúl Hernández Islas**

saulhernandezislas@yahoo.com.mx  
Instituto Politécnico Nacional UPIBI  
CDMX – México

**Agustín Altamirano Segovia**

agustin\_ass@yahoo.com.mx  
Instituto Politécnico Nacional UPIBI  
CDMX – México

Artículo recibido: 31 de mayo de 2023. Aceptado para publicación: 05 de junio de 2023.  
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### **Resumen**

En la presente investigación se desarrolló un plan de negocio a partir del análisis del estiércol bovino en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México; con la finalidad de conocer su factibilidad de ser empleado en la obtención de biometano envasado y su uso en los hogares del municipio. Para ello se realizó un estudio de mercado a partir de un ejercicio de inferencia estadística, con la finalidad de conocer datos como la demanda, frecuencia de consumo de gas y la opinión acerca de usar un biocombustible en sus hogares; para esto se aplicó una encuesta a una muestra de 383 hogares del municipio, utilizando un nivel de confianza del 95%. En los resultados el 68.7% de los habitantes manifiestan tener confianza en consumir un producto que sea elaborado de estiércol bovino, aunado a que el 91.1% de los hogares consumen en promedio 20 kilogramos mensuales de gas LP; por lo cual es el tamaño idóneo para la propuesta. Técnicamente es posible producir biometano de los residuos de estiércol y su uso como combustible alternativo al gas LP. Lo anterior requiere de la implementación de un sistema de purificación y para su envasado de un sistema de compresión que permita disponerlo en

tanques de 20 kilogramos. El estudio económico dio como resultado ofrecer al mercado un tanque a un precio de venta de \$341.37, el cual se encuentra dentro del rango de aceptación de los consumidores; en cuanto al estudio financiero la inversión se recupera después del 2do año, con una VPN de \$7,499,337 y una TIR de 52.26%. Lo anterior representa una opción sustentable para aprovechar un residuo y conseguir biocombustible, desde el punto de vista ambiental, social y económico.

*Palabras clave:* biocombustible, purificación, envasado, estiércol, plan de negocio

## Abstract

In the present investigation, a business plan was developed from the analysis of bovine manure in the municipality of Ixtapaluca, State of Mexico; to know its feasibility of being used to obtain bottled biomethane and its use in the homes of the municipality. For this, a market study was carried out based on a statistical inference exercise, with the purpose of knowing data such as demand, frequency of gas consumption and opinion about using a biofuel in their homes; For this, a survey was applied to a sample of 383 households in the municipality, using a confidence level of 95%. In the results, 68.7% of the inhabitant's state that they have confidence in consuming a product that is made from bovine manure, in addition to the fact that 91.1% of households consume an average of 20 kilograms of LP gas per month; therefore, it is the ideal size for the proposal. Technically it is possible to produce biomethane from manure residues and use it as an alternative fuel to LP gas. This requires the implementation of a purification system and for its packaging a compression system that allows it to be disposed of in 20-kilogram tanks. The economic study resulted in offering the market a tank at a sale price of \$341.37, which is within the range of acceptance by consumers; Regarding the financial study, the investment is recovered after the 2nd year, with a NPV of \$7,499,337 and an IRR of 52.26%. This represents a sustainable option to take advantage of waste and obtain biofuel, from the environmental, social and economic point of view.

*Keywords:* biofuel, purification, packaging, manure, business plan

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Como citar: Ramírez Escamilla, H., Domínguez Solís, D., Ramírez de León, A., Hernández Islas, S., & Altamirano Segovia, A. (2023). Plan de negocio para la producción de biometano envasado en tanques, como propuesta de aprovechamiento para residuos de estiércol. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 4(2), 1664–1688. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.710>

## **INTRODUCCIÓN**

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de la sociedad, una de las problemáticas que cada vez aqueja más a los líderes de cada país es que las fuentes de energía empiezan agotarse o al menos ya no son la misma cantidad de años atrás; puesto que las fuentes de energía fósil son finitas. Por lo que el uso de energías renovables comienza a tener un mayor impacto como solución para cubrir las necesidades de la población, para propósito del presente artículo solo se enfocara en el consumo de gas LP y natural, que son aplicados en las cocinas de los hogares.

El gas más relevante que se emite en nuestro país es el bióxido de carbono con 71% de las emisiones, seguido del metano con 21%. Del total de las emisiones, 64% corresponden al consumo de combustibles fósiles; 10% se originan por los sistemas de producción pecuaria; 8% provienen de procesos industriales; 7% se emiten por el mal manejo de residuos; 6% por emisiones fugitivas por extracción de petróleo, gas y minerías y 5% se generan por actividades agrícolas (INEEC, 2015). Por lo que se busca establecer una solución para la disminución de emisiones de metano y bióxido de carbono; como ya se mencionó el mal manejo de residuos contribuye en cierta forma a las emisiones por lo que a partir de esto se propone una solución que será dirigida a esta parte.

El biogás obtenido a partir del estiércol de animales de granja pretende reducir la contaminación que esta genera por la falta de almacenamiento o tratamiento, evitando un impacto ambiental. Aprovechar este producto como materia prima para elaborar biogás tiene como finalidad reducir la cantidad de gases de efecto invernadero, la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo, la contaminación de cuerpos hídricos, así como también, disminuir la exposición a enfermedades por los patógenos que se encuentran presentes en las heces del ganado. Debido al creciente aumento de precios en combustibles las personas buscan alternativas para suplir el uso de gas LP el cual según datos del INEGI aumento 18.7% su precio con respecto a junio del 2021, existen comunidades donde el precio de este gas es insostenible por lo que optan por usar leña o carbón lo cual es dañino para la salud de las personas y el medio ambiente, el biogás es un combustible que no emite gases a la atmósfera y sustancias tóxicas al suelo y que puede suplir a los principales combustibles que más son usados actualmente en México, por ser más accesible económicamente y menos contaminante.

El biometano es el gas que se obtiene después de retirar las trazas en la composición del biogás (dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, agua), se convierte en un mejor combustible al aumentar su contenido de metano, volviéndose una opción para emplearse en los quemadores domésticos. En esta propuesta de trabajo se busca aprovechar los residuos de estiércol bovino como materia prima para producir biogás para posteriormente conseguir biometano, buscando dar una mejor disposición y al mismo tiempo reducir la emisiones de GEI, la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo, la contaminación de cuerpos hídricos, disminuir la exposición a enfermedades por patógenos que se encuentran presentes en las heces del ganado, así como también, ofrecer a los usuarios una alternativa de gas combustible de buena calidad a precios accesibles, además de buscar reemplazar el uso de leña o carbón como opción de combustible.

## Objetivos

### Objetivo general

Demostrar la viabilidad técnica y económica de producir y envasar biometano a partir de residuos del estiércol de ganado para su comercialización en el municipio de Ixtapaluca, con el fin de proponer una alternativa de gas combustible.

### Objetivos específicos

- Determinar la demanda potencial insatisfecha de biometano envasado en tanques de acero de 20 kg capacidad.
- Evaluar las alternativas tecnológicas para la mayor generación de biometano a partir de menor cantidad de fracción orgánica y lograr la purificación del biogás para su envasado.
- Determinar el precio de venta de un tanque de 20 kg de biometano y comprobar que el precio se encuentre dentro del rango de mercado.
- Determinar la rentabilidad del proyecto y el tiempo de recuperación de la inversión.
- Analizar las ventajas ambientales que tiene implementar un proyecto de este tipo.

## MÉTODO

Para la realización de la presente investigación en primera instancia se realizó una investigación documental sobre la cantidad de hogares, personas, establos y cabezas de ganado en el municipio de Ixtapaluca, Estado de México. Se recabo la cantidad de cabezas de ganado bovino a partir de información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), una vez obtenidos dichos datos se investigó la cantidad de estiércol por día que produce una cabeza de ganado para de esta forma obtener los kg de estiércol al día.

En segundo término, se realizó investigación bibliográfica sobre los rendimientos de los distintos tipos de estiércol encontrados en los establos del municipio de Ixtapaluca. Se investiga la productividad para encontrar la cantidad de metano que se puede obtener de cada tipo de materia disponible a emplear (m<sup>3</sup>/kg de estiércol), los datos de la relación C/N y los sólidos volátiles.

Posteriormente se realizó una investigación de campo a través del diseño y aplicación de una encuesta con el objeto de conocer la opinión de los consumidores de gas. Para identificar las áreas de oportunidad se diseñó un ejercicio de estadística inferencial y se aplicó un cuestionario en línea en Google, empleando la escala Likert.

Tamaño de la muestra: Se realizó el cálculo de tamaño de muestra, con la finalidad de conocer el número de individuos que deben estudiarse, determinado a partir de un grado de confianza deseado. A continuación, se presenta la ecuación empleada para conocer el tamaño de muestra.

$$n = \frac{N * p * q * z^2}{e_z * (N - 1) + z^2 * p * q}$$

n= tamaño de la muestra (población)

N= tamaño de la población total= 542,211 habitantes en Ixtapaluca (INEGI, 2021)

Z= nivel de confianza (95% -1.96) (Baca,2013)

e= error en %

p= probabilidad de éxito (se maneja como 50%)

q=probabilidad de fracaso (se maneja como 50%)

p+q= 100%

z+e=100%

para un valor de z de 95% de porcentaje de confiabilidad por lo que Z= 1.96 (Baca,2013) conociendo este valor se obtiene el valor de e=100-95=5%

$$n = \frac{N * p * q * z^2}{e^2 * (N - 1) + (z^2 * p * q)}$$

$$n = \frac{542211 * 0.5 * 0.5 * 1.96^2}{0.05^2 * (542211 - 1) + (1.96^2 * 0.5 * 0.5)}$$

$$n = 383 \text{ encuestas}$$

Por lo tanto, para tener un nivel de confianza del 95%, se realizaron 383 encuestas.

### **Tipo de encuesta**

Se realizará la recuperación de información a partir de una encuesta del tipo cuantitativa, con preguntas del tipo cerrada para facilitar las opciones a los encuestados y será mediante un medio de captura online.

### **Escala de Likert**

Se realizó la aplicación de la escala de Likert para poder conocer el grado de conformidad de los encuestados, esta escala se encuentra en las preguntas 2 a la 10 y 15.

Con los resultados de la encuesta se continuó con un estudio y delimitación de la zona apropiada para el establecimiento del proyecto, considerando aspectos como dimensiones apropiadas del terreno necesario, transporte de la materia a ocupar, ruta de acceso y salida para distribución del producto final.

Posteriormente se investigaron los diferentes ofertantes de gas combustible en el municipio, así como el consumo en los hogares. A través de los datos de la Secretaría de Energía (2021), se encontró los principales gases combustibles (competidores indirectos) utilizados en casa-habitación en el municipio de Ixtapaluca.

Se determinó la factibilidad de producir biometano a partir de residuos de estiércol. Con base en la demanda potencial insatisfecha obtenida a partir de las encuestas realizadas, se determina el volumen del biodigestor a utilizar para la producción de biogás, el material de construcción se eligió con base en las características del sitio, el tiempo de retención hidráulica se determinó con base a los establecidos como ideales para obtener un mejor rendimiento, para producir un biogás de mayor calidad se propone purificarlo, este proceso se establece a partir de otros estudios y de los rendimientos encontrados en la bibliografía.

Se determinó el costo de producción, el costo total de operación y el precio de venta para un tanque de 20 kg con biocombustible, esto se obtuvo a partir de desglosar cada uno de los costos implicados en el costo total de producción y de conocer el número de piezas mensuales.

Se determinó la rentabilidad y el tiempo de recuperación de la inversión, mediante la técnica del punto de equilibrio, el cual nos indica la cantidad mínima de tanques que se deben vender para lograr igualar los costos y ventas. Así mismo, la rentabilidad del producto se demostró mediante un análisis de sensibilidad el cual consiste en plantear casos hipotéticos en caso de que sucedieran incrementos en 3 aspectos importantes (venta, mano de obra y materia prima).

**RESULTADOS**

**Análisis sobre la materia prima en el municipio de Ixtapaluca**

A través de una investigación en el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) el número de cabezas de ganado (bovino, porcino, ovino) en el municipio de Ixtapaluca es de 1,830 en los establos.

La cantidad de producción de estiércol por cabeza de bovino es de 3.7 kg/día (Doroteo, 2012), por lo que la cantidad de materia final obtenida es de 6,771 kg/día, lo cual es la requerida para sobrellevar el proceso. Posteriormente datos de autores como Varnero (1991) a través de una relación permite conocer la cantidad de biogás que se puede obtener por kilogramo de estiércol, para el caso se bovinos especifica que se produce 0.04 m<sup>3</sup>/kg de estiércol (tabla 1), poder convertir este último dato en m<sup>3</sup> de biogás por kilogramo de estiércol. Con este dato, para el presente proyecto se obtendrá un total de 59.2 m<sup>3</sup> de biogás por día. La productividad de biogás depende del tipo de materia y de asegurar las condiciones apropiadas para llevar a cabo la digestión dentro del biorreactor que posteriormente se describirán cada una.

**Tabla 1**

*Volumen de biogás producido por kilogramos de estiércol*

m <sup>3</sup> biogás/Kg de estiércol		
Bovino	Porcino	Ovino
0.04	0.06	0.05

**Fuente:** Varnero, 1991.

A continuación, se describe las variables a considerar para la obtención de un biogás de calidad: Debe considerarse que las materias primas tengan una relación de C/N en el rango óptimo de 20:1 a 30:1 (Varnero, 2011), para ello se realizó la siguiente revisión bibliografía para conocer esta relación para cada uno de los tipos de estiércol. La relación C/N se recomienda a este intervalo, ya que los microorganismos encargados de la fermentación requieren entre 20 a 30 partes de carbono por una de nitrógeno para lograr sintetizar una proteína y producir energía de manera óptima.

**Tabla 2**

*Relación carbono/nitrógeno para cada tipo de materia prima*

Relación C/N		
Bovino	Porcino	Ovino
25:1	20:1	22:1

**Fuente:** Gómez-Rosales et al., 2022; Varnero, 2011.

Otro de los factores a tomar en cuenta son los porcentajes de sólidos volátiles (SV), este dato es fundamental ya que nos permite conocer la producción de biogás que tendrán las materias

primas, ya que una materia con alta concentración de materia volátil (materia orgánica digerible) produce en un mismo tiempo de retención hidráulico una mayor cantidad de biogás (Gruber & Hilbert, 2010).

A continuación, se muestran los valores de SV recuperados bibliográficamente:

**Tabla 3**

*Porcentaje de sólidos volátiles por tipo de estiércol*

Sólidos volátiles (%)		
Bovino	Porcino	Ovino
80	77	70

**Fuente:** Durazno, 2018; Gruber & Hilbert, 2010.

Dicho lo anterior, se justifica que la materia prima idónea con base a los criterios anteriores es el estiércol bovino por lo que será la que se utilizará en el proceso para la producción de biogás y la obtención del producto final (biometano).

En el cuadro siguiente se presentan un resumen de los datos y el cálculo del volumen de biogás a obtener del estiércol de los bovinos del municipio de Ixtapaluca.

**Tabla 4**

*Volumen de biogás por día según el tipo de estiércol.*

Cabezas de ganado bovino	Producción de estiércol por cabeza (kg/día)	m <sup>3</sup> biogás/Kg de estiércol	m <sup>3</sup> biogás		
			Diario	Mensual	Anual
1830	3.7	0.04	270.84	8,125.2	97,502.4

**Fuente:** Elaboración propia.

### Estudio de mercado

La inferencia estadística obtenida a partir de las 383 encuestas realizadas se muestra a continuación:

**Tabla 5**

*Inferencia estadística del estudio de mercado*

Pregunta	Inferencia	Pregunta	Inferencia
¿Qué tipo de combustible utiliza en su vivienda?	En Ixtapaluca el 90.6% de los hogares utilizan gas LP, considerando que en el municipio hay 146,962 hogares (INEGI, 2021), en total 133,180.57 ocupan gas LP.	¿Cuál es el problema que presenta frecuentemente al adquirir gas combustible?	Un problema frecuente al que se enfrenta la población que consume gas LP en Ixtapaluca es la mala calidad del gas combustible en un 18.8% y un 34.5% está en desacuerdo con su precio.

<p><b>¿En qué presentación adquiere gas combustible?</b></p>	<p>El 91.1% de los 133,180.57 hogares consumen el gas LP en cilindros de gas convencionales, un total de 121,327.5 hogares.</p>	<p><b>¿Conoce qué es el biometano?</b></p>	<p>Según los resultados obtenidos el 60.3% de la población conoce lo que es el biometano, por lo que están familiarizados con el producto.</p>
<p><b>¿Qué tan frecuente compra cilindros de gas convencionales?</b></p>	<p>El 67.4% de los hogares consume una vez al mes un tanque de gas LP, un aproximado de 81774.73.</p>	<p><b>¿Conoce las ventajas ambientales que tiene consumir este producto (biometano)?</b></p>	<p>Según los resultados obtenidos, el 57.4% de la gente encuestada conoce las ventajas que tiene el consumo de biometano como gas combustible</p>
<p><b>¿De qué forma los adquiere?</b></p>	<p>El 60.8% de los hogares que consumen cilindros de gas convencionales (121,327.5) los adquieren directamente en la gasera, un 73,767.12%.</p>	<p><b>¿Sabía usted que puede generar gas combustible a partir de estiércol del ganado?</b></p>	<p>Según los resultados obtenidos, el 63.2% de la gente encuestada conoce que es posible generar gas combustible a partir de estiércol de ganado</p>
<p><b>¿Cuál es la capacidad de tanque que prefieres comprar?</b></p>	<p>El 91.1% de los hogares consumen 20 kg mensuales de gas LP, considerando 121,327.5 hogares, un total de 110,529.4 hogares consumen 20 kg mensuales, esto nos da un consumo mensual de 2,210,587.92 kg.</p>	<p><b>¿Escuchar que el producto es generado a partir de desechos le da confianza al consumirlo?</b></p>	<p>Según con los resultados de la encuesta realizada, el 68.7% de los encuestados tiene confianza en consumir el producto</p>
<p><b>¿Cuánto paga al mes por el producto?</b></p>	<p>El 70.9% de la población paga al mes en gas LP entre \$300 a \$500 y solo un 23.1% paga más de \$500.</p>		
<p><b>¿Está conforme con el precio del producto?</b></p>	<p>el 58.3% de la población no está ni de acuerdo ni desacuerdo por el precio que pagan, hay un 24.9% de la población que se encuentra en desacuerdo por lo que podría representar una opción para nuestro producto</p>	<p><b>¿Cuánto pagaría por un producto de este tipo (tanque de biometano de 20 kg)?</b></p>	<p>Con base a los resultados obtenidos, se obtuvo que el 67.4% de los encuestados estaría dispuesto a pagar por un tanque de 20 Kg de biometano entre \$400 a \$500</p>

**Fuente:** Elaboración propia.

La DPI se determina a partir del estudio de mercado llevado a cabo, la inferencia estadística nos permitirá obtener resultados confiables de una muestra y aplicados a la población. En Ixtapaluca se puede estimar que 91.1% de los hogares consumen 20 kg mensuales de gas LP, considerando 121,327.5 hogares, un total de 110,529.4 hogares consumen 20 kg mensuales, esto nos da un consumo mensual de 2,210,587.92 kg.

Densidad del gas LP: 540 kg/m<sup>3</sup>

Consumo mensual de la zona 1,226,060 kg de gas LP

Considerando las respuestas de la encuesta se tiene que un porcentaje del 18.8% está inconforme con la calidad del producto y un 37.5 % en desacuerdo con el precio. De esta manera consideramos como un nicho de mercado satisfacer con biogás a esos hogares. La demanda potencial insatisfecha (DPI) obtenida de esta manera es: 2,210,587.92\*56.3%=1,244,561 kg

De esta manera consideramos que la capacidad de producción de nuestra planta de biogás obtenida de residuos orgánicos (estiércol de ganado) es para abarcar el 100% de la DPI, es decir, 2,305 m<sup>3</sup> de biometano al mes.

**Tabla 6**

*Número de tanques para cumplir con la demanda potencial insatisfecha (DPI)*

Tanques	Valor
Anuales	82,625
Mensuales	6,885
Diarios	275

**Fuente:** Elaboración propia.

Volumen del biodigestor

Demanda: 77 m<sup>3</sup> biogás/día

**Tabla 7**

*Parámetros químicos del estiércol bovino*

Estiércol	Humedad	Masa seca (MS)	Relación C/N	Relación agua	Sólidos volátiles/Masa seca (MS)
Bovino	86%	14%	25	1:1	80%

**Fuente:** Elaboración propia con información de Durazno (2018).

Rendimiento de estiércol: 0.4625 m<sup>3</sup>/kg SV \*

\*La cantidad de biogás está relacionada con la cantidad de sólidos volátiles (SV)

Si se toma el rendimiento de los sólidos volátiles SV de la muestra quedan desestimadas las diferencias que puede haber para una misma materia prima por tener más agua o material orgánico.

La cantidad de SV en estiércol diario se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cantidad de SV en estiercol diario} = \frac{\text{Producción diaria de biogás}}{\text{Rendimiento producción de biogás}}$$

$$\text{Cantidad de SV en estiercol diario} = 166.13 \text{ kg SV}$$

Para determinar la cantidad de estiércol (MC) a partir de los sólidos volátiles necesarios se realiza lo siguiente:

$$\text{Cantidad de estiércol} = 166.13 \text{ kg SV} * \frac{1 \text{ kg MS}}{0.8 \text{ kg SV}} * \frac{1 \text{ kg MC}}{0.14 \text{ kg MS}}$$

$$\text{Cantidad de estiércol} = 1483 \text{ kg de estiércol}$$

Durazno (2018) determinó que 65.32 kg de estiércol bovino es igual en volumen a 75.7 L de esta materia prima, con lo anterior se calcula que el volumen diario de estiércol necesario es de 1718.98 L.

La carga diaria del biodigestor considera el volumen de estiércol bovino y la cantidad de agua que ingresa, la relación agua es de 1:1 para esta materia prima, es decir, por cada kilogramo de estiércol que entre al biodigestor se necesita 1 L de agua.

$$\text{Carga diaria} = 1719 \text{ L de estiércol bovino} + 1483 \text{ L de agua}$$

$$\text{Carga diaria} = 3202 \frac{\text{L}}{\text{día}} = 3.202 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Para determinar el volumen del biodigestor se considera su carga diaria y el tiempo de retención hidráulica (TRH).

El tiempo de retención hidráulica para un biodigestor de mezcla completa es de 22.5 días en el régimen termofílico (Varnero,2011).

$$\text{Volumen operacional} = \text{Carga diaria} * \text{TRH}$$

$$\text{Volumen operacional} = 72 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del reactor} = \frac{100 * \text{Volumen operacional}}{80}$$

$$\text{Volumen del reactor} = 90 \text{ m}^3$$

Al volumen necesario para la digestión se le agrega un volumen adicional de seguridad del 20% según las normas API-ASME para el diseño de tanques de almacenamiento.

Se utiliza la siguiente relación:

$$\frac{D_{\text{biodigestor}}}{L_{\text{biodigestor}}} = \frac{2}{3}$$

$$D = 4.3 \text{ m}$$

$$L = 6.5 \text{ m}$$

### Tipo de agitación

La materia contenida en el biodigestor necesita de una agitación ya sea de tipo mecánica o neumática, debido a que la segunda tiene un costo mayor debido a la materia prima que demanda (gas nitrógeno) para su funcionamiento se opta por elegir la primera. La agitación mecánica puede ser radial o axial esto depende principalmente de lo que se quiera hacer con la materia dentro del biodigestor. Para la producción de metano es necesario mantener un proceso anaerobio, para ello las RPM del agitador serán pocas por lo que en realidad no se pretende mezclar sino dispersar la materia para acelerar el proceso de digestión anaerobia, para dispersar materia dentro de un biorreactor se recomienda un flujo radial.

Considerando el tipo de flujo radial se propone utilizar agitadores de turbina Rushton de 6 paletas rectas angostas para impulsar la materia radialmente contra las paredes laterales del tanque.

**Figura 1**

*Semejanzas geométricas impulsor tipo turbina*

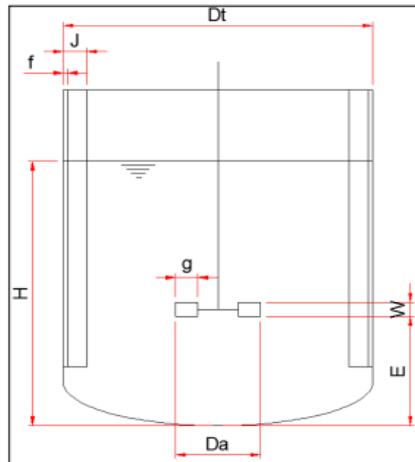


Tabla 6.4 Semejanzas geométricas impulsor tipo turbina.

H / Dt=1	Da / Dt=0.33	E / Dt=0.33
W / Da= 0.2	g / Da=0.25	J / Dt=0.1
f / Dt=0.02		

**Fuente:** (Castillo, 2013).

Considerando que el biodigestor tiene 2.6 m de diámetro total y una altura de 3.01 m de operación, las dimensiones del agitador utilizando las relaciones de la figura 18 son las siguientes:

**Distancia al fondo de la base del impulsor (E)**

$$\frac{E}{Dt} = 0.33$$

$$E = 0.33 * 4.34 \text{ m} = 1.45 \text{ m}$$

**Diámetro impulsor (Da)**

$$\frac{Da}{Dt} = 0.33$$

$$Da = 0.33 * 4.34 \text{ m} = 1.45 \text{ m}$$

**Largo de paleta (g)**

$$\frac{g}{Da} = 0.25$$

$$g = 0.25 * 1.45 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$$

**Ancho de paleta (W)**

$$\frac{W}{Da} = 0.2$$

$$W = 0.2 * 1.45 \text{ m} = 0.3 \text{ m}$$

**Sistema de calentamiento del digestor**

Después de varios estudios se determinó que para poder producir la mayor cantidad de gas se requiere que dentro del tanque se mantenga una temperatura dentro del rango termofílico, es decir, de 45 °C (Varnero, 2011).

Para biodigestores de este tipo existen 3 tipos de intercambiadores de calor que más se utilizan: tubo y carcasa, de placas y de tubo aleteado.

El intercambiador de tubo y carcasa es el más efectivo para el intercambio de calor ya que el fluido para calentar la tubería pasa por los tubos del intercambiador y el fluido (medio de cultivo) pasa por la parte externa y hace que el intercambio suceda. El arreglo que se utilizará es el de un solo tubo doblado en forma de serpentín que rodea al cilindro de la hélice para así ahorrar espacio, que no se pierda la presión y abarcar la mayor área posible para una mayor efectividad.

**Tabla 8**

*Costos de material de los tubos para el intercambiador de calor*

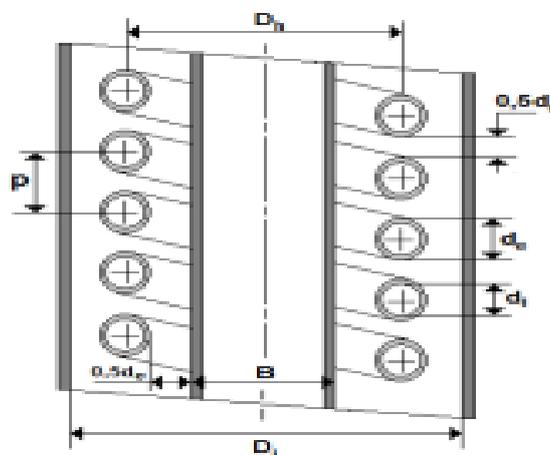
Costos de material por metro	
Hierro galvanizado	\$175
Cobre	\$155
Acero inoxidable	\$264

**Fuente:** Elaboración propia.

El cobre y hierro galvanizado son parecidos en precios, pero el primero tiene la ventaja que no se oxida fácilmente y va a poder resistir el paso del agua a comparación del segundo que se corroe. En lo que se refiere al acero, el precio fue más caro que los otros. Dada la poca diferencia entre el cobre y el hierro galvanizado y como el cobre se puede doblar se decide utilizar este material para la tubería del intercambiador.

**Figura 2**

*Vista esquemática de corte de un intercambiador de calor de serpentín.*



**Fuente:** (Pérez et al., 2019)

Se necesita diseñar un ICS para llevar a cabo el calentamiento de 20.19 kg/h de estiércol, desde 18 °C hasta 45 °C, empleando agua a 70 °C como medio de calentamiento. Como condición la temperatura de salida del agua de calentamiento no deberá ser menor que 60 °C.

Para el diseño del serpentín se debe tener en cuenta las propiedades termofísicas del medio de cultivo y el agua de calentamiento, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 9**

*Propiedades termofísicas del medio de cultivo y agua de calentamiento*

Propiedades	Medio de cultivo	Agua de calentamiento	Unidades
Calor específico	2.25	4.183	kJ/kg*K
Densidad	993	988.05	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	1.00E-03	0.0005	Pa*s
Conductividad térmica	0.35	0.66	W/m*K

**Fuente:** Tablas y diagramas de propiedades (Çengel y Boles, 2009).

Además, se necesita considerar los siguientes datos para el serpentín y los cilindros interior y exterior:

- Diámetro total del biodigestor (Dt): 5.89 m
- Diámetro exterior del cilindro (B): 1.52 m
- Diámetro interior del cilindro (Di): 5.84 m
- Diámetro interior del serpentín (di): 0.025 m
- Diámetro exterior del serpentín (de): 0.029 m
- Diámetro promedio de la hélice (Dh): 1.96 m

A continuación, se muestran los resultados de los cálculos del paso (p), el diámetro interior de la hélice (Dih) y el diámetro exterior de la hélice (Deh):

**Tabla 10**

*Resultados del paso (p), el diámetro interior de la hélice (Dih) y el diámetro exterior de la hélice (Deh)*

Parámetro	Valor	Unidades
Paso (p)	0.044	m
Diámetro interior de la hélice (Dih)	1.549	m
Diámetro exterior de la hélice (Deh)	2.371	m

**Fuente:** Elaboración propia

El agua de calentamiento pasará a una velocidad de 2 m/s en la tubería de cobre, esto debido a que el código de plomería limita el paso de agua caliente y fría que pasa en tuberías de este material en un rango de 1.5-2.5 m/s, además, se considera que la conductividad térmica del cobre es de 385 W/m\*K. A partir del diámetro nominal de la tubería y la velocidad de flujo, se obtiene el caudal y flujo másico con el que posteriormente se calcula Q, el calor intercambiado en el sistema.

**Tabla 11**

*Variables del agua de calentamiento*

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	0.0010	m <sup>3</sup> /s
Densidad	988.05	kg/m <sup>3</sup>
Flujo másico	0.9700	kg/s

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez que se conoce el flujo másico, la temperatura de entrada y de salida del agua de calentamiento se calcula el calor intercambiado en el sistema.

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_2 - T_1) = 0.97 \frac{kg}{s} * 4.18 \frac{kJ}{kg * K} * (70^\circ C - 60^\circ C)$$

$$Q = 40.58 kW$$

Se calcula el coeficiente global de transferencia de calor (U) en el sistema, para ello, primero se necesita determinar el número de Reynolds, número de Prandtl, el número de Nusselt y el coeficiente pelicular de transferencia de calor (h<sub>0</sub>), de los cuales sus resultados fueron los siguientes:

**Tabla 12**

*Propiedades*

Parámetro	Valor	Unidades
Número de Reynolds	1946280	Adimensional
Número de Prandtl	6.43	Adimensional
Número de Nusselt	14135.52	Adimensional
Coeficiente pelicular de transferencia de calor (h <sub>0</sub> )	840.03	W/m <sup>2</sup> *K

**Fuente:** Elaboración propia.

El cálculo de U se muestra a continuación:

$$U = \frac{1}{\frac{r_0 * \ln \left( \frac{r_0}{r_i} \right)}{k_{cobre}} + \frac{1}{h_0}}$$

*r<sub>0</sub>*: radio exterior del serpentín

*r<sub>i</sub>*: radio interior del serpentín

*k<sub>cobre</sub>*: Conductividad térmica del cobre

$$U = 836.10 \frac{W}{m^2 * K}$$

El cálculo de la temperatura media logarítmica se muestra a continuación:

$$\Delta T_m = \frac{(70^\circ C - 18^\circ C) - (60^\circ - 45^\circ C)}{\ln \ln \left[ \frac{(70^\circ C - 18^\circ C)}{(60^\circ - 45^\circ C)} \right]} = 29.76^\circ C$$

Una vez obtenida U y la temperatura media logarítmica se puede calcular el área de transferencia de calor necesaria del serpentín.

$$A_{serpentín} = 1.63 m^2$$

La longitud es de:

$$L_{serpentín} = 17.90 m$$

El número de vueltas del serpentín (N) es de:

$$N = \frac{L_{serpentín}}{\sqrt{\left(2 * \pi * \frac{Dh}{2}\right)^2 + p^2}}$$

$$N = 7 \text{ vueltas}$$

El agua a 70°C que se hará pasar por el serpentín provendrá de un calentador comercial con una capacidad de 360 L.

### Sensores en el biodigestor

El control de variables en el proceso de producción de biogás es fundamental por lo que se debe ser cuidadoso con mantener un chequeo constante para obtener un producto de calidad. A continuación, se muestran los sensores que se emplearán para el control de las distintas variables.

**Tabla 13**

*Descripción de instrumentos de control en el proceso de producción de biogás*

Parámetro	Descripción	Imagen
Medidor de flujo de biogás	Para medir la producción de biogás y la concentración de metano (m <sup>3</sup> biogás/año y % presencia de metano en el biogás)	
Temperatura (RTD)	El material más utilizado por sus características de comportamiento lineal es el platino. Tiene un rango de medición entre 0 y 400 °C	
Presión	Manómetro: Para medir la presión de biogás (atm), si no está incluido en el medidor de flujo de biogás	
pH	Electrodo tipo analógico industrial, la sonda opera en un voltaje de entrada de 5 ± 0.2 Vac y una corriente de 5-10 mA y los rangos de concentración de detección de 0 – 14	
Espuma	Sensor de espuma: Se aplica para la detección de espuma con o sin medida simultánea de nivel en el reactor.  Antiespumante: Mazu	

**Fuente:** Instituto Internacional de Recursos Renovables, 2014; Bermúdez y Díaz, 2010.

### Propuesta de Envasado

Se envasa en cilindros de alta presión los cuales son envases de acero de calidad especial, fabricados sin uniones soldadas y tratados térmicamente para optimizar sus propiedades de resistencia y elasticidad, dichos cilindros son cargados a alta presión, comprimiendo el biometano en el reducido espacio interior del cilindro, el cilindro tiene un diámetro externo de 31

cm, 50 cm de altura y una pared con espesor de 1.98 mm para una capacidad estimada de 20 kg de biometano.

Las pruebas indispensables para la corroboración de la calidad de los tanques empleados serán los siguientes; prueba de capacidad volumétrica, prueba de hermeticidad, prueba de resistencia de alta presión, prueba de espesor de lámina, prueba de exposición a temperatura elevada, cada una de las pruebas anteriores basadas en lo establecido por la norma NOM-008-SESH/SCFI-2010, Recipientes transportables para contener Gas L.P, aunque lo que se envasara no será este tipo de gas, se ha reconocido que el biometano que se obtendrá puede ser envasado en este tipo de dispositivos por lo que será importante realizar las pruebas anteriormente mencionadas, para garantizar la calidad de estos.

Con base a la NRF-009-PEMEX-2001. Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento, el color del tanque envasado será amarillo.

### **Descripción del proceso**

El proceso realizado se llevará a cabo en un biodigestor de volumen de 90 m<sup>3</sup> el cual está construido de polietileno, en el cual se llevará a cabo todo el proceso de la digestión para lograr la obtención de biogás, para ello se deberá realizar lo siguiente:

Previo a ingresar el estiércol bovino al biodigestor, se llevará a cabo un triturado de los sólidos para de esta forma garantizar una homogeneización del sustrato, este paso es fundamental para facilitar la etapa de hidrólisis logrando una mayor área superficial para los microorganismos (Díaz, 2019). Posterior a tener la materia triturada se agrega una cantidad de agua que cumpla la relación 1:1 que demanda el estiércol bovino, es decir, por 1 kg de esta materia se agrega 1 L de agua.

Esta cantidad se cargará de forma continua hasta conseguir llegar al volumen de producción del biodigestor. Una vez cargada la materia se deberá controlar los siguientes parámetros

La temperatura que se requiere dentro del tanque debe encontrarse por arriba de los 45°C (Montesinos, 2009), se recomienda que sea en este rango ya que afirman que bajo condiciones mesofílicas la digestión anaeróbica tiene buen rendimiento de producción de metano. En condiciones termofílicas, si bien el rendimiento aumenta, el control del proceso se vuelve sumamente complejo. Así mismo, se asegura que a temperaturas iguales o mayores a 57 ° C, se produce degradación de la biomasa, disminuyendo el rendimiento de metano (Díaz, 2019).

Para lograr conseguir que estas temperaturas se mantengan en todo momento en el biodigestor, se opta por utilizar un serpentín de cobre el cual tendrá la función de mantener la temperatura a un promedio de 45°C, el agua a 70°C para el calentamiento proviene de una caldera.

Ligado a lo anterior se tienen dos aspectos importantes en el proceso como lo son el tiempo de retención (TR) y el volumen de carga (VC), ambos ligados con el volumen del digestor y a su vez con la temperatura a la que se llevará la digestión anaeróbica. Para el caso del TR será de 22.5 días, esto debido a que de acuerdo con la materia prima empleada y a al régimen que se trabaja (termofílico) se recomienda un lapso de 20-30 días, por lo que el VR será de 1/22.5 del volumen de biodigestor por día (Díaz, 2019).

Otro parámetro para controlar en el proceso es asegurar las condiciones anaerobias dentro del biodigestor, lo cual se logrará a través de la inyección de nitrógeno para desplazar el mayor porcentaje de oxígeno y de esta forma poder asegurar que las bacterias que quedan son anaeróbicas que serán las encargadas de la producción de biogás. Mencionado lo anterior el que se obtengan este tipo de bacterias también dependerá a su vez del control de pH por ello en este proceso se controla mediante un sensor para que en todo momento se asegure que este valor

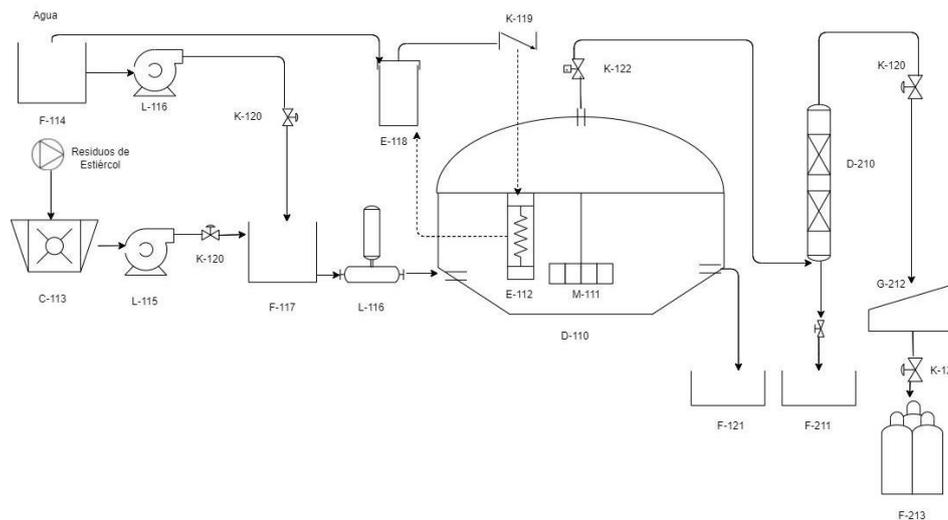
se encontrará lo más próximo a la neutralidad (7.8 y 8.2 para metanogénicos), en caso de no cumplirse ya sea que sea más ácido o básico, se regulará la cantidad de materia que ingrese al proceso o se implementara algún químico para ajustar el pH.

La agitación-mezclado es otro punto importante a considerar en el proceso, para esto se utilizara un sistema de mezcla completa que permita la homogeneización de la materia prima y de la temperatura de la misma, ya que al ser un biodigestor con una fuente de calor que permita alcanzar la temperatura deseada se necesita que esta sea lo más homogénea en todo el sistema, además de conseguir que el sustrato fresco que ingrese sea encuentre disponible para los microorganismos metanogénicos para lograr una uniformidad de densidad bacteriana y evitar espacios sin actividad biológica, la formación de costra, espuma y la sedimentación en el biodigestor (Varnero, 2011; Díaz, 2019).

La materia contenida en el biodigestor necesita de una agitación para dispersar la materia y acelerar el proceso de digestión anaerobia, se propone utilizar agitadores de turbina Rushton de 6 paletas rectas angostas para impulsar la materia radialmente contra las paredes laterales del tanque.

De esta forma se podrá obtener un biogás de calidad para fines del producto que ofrecerá este modelo de negocio, se aplicará una purificación al producto obtenido, con el propósito de retirar impurezas como lo es el ácido sulfhídrico que es un compuesto corrosivo y que puede tener afectaciones al tanque y tuberías si no se realiza una purificación (Olumide et al., 2017), así mismo se buscará retirar el segundo gas con mayor presencia que es el dióxido de carbono, para esto se emplea una columna de absorción que con Diglicolamina la cual tendrá la función de eliminar las trazas y poder obtener un mayor porcentaje de metano, para de esta forma pasar de obtener un biogás de calidad a un biometano de calidad que pueda ser aprovechado como gas combustible.

**Figura 3**



*Diagrama de flujo*

**Tabla 14**

*Diagrama de flujo para la producción de biometano.*

Proceso de producción de biogás	Proceso de purificación de biogás
D-110 Biodigestor	D-210 Columna de absorción

M-111 Agitador	F-211 Residuos de trazas de biogás
E-112 Serpentín	G-212 Compresor
C-113 Triturador	F-213 Envasado
F-114 Tanque de agua	
L-115 Bomba centrífuga	
L-116 Bomba vertical	
F-117 Tanque de mezclado	
E-118 Calentador	
K-119 Check value	
K-120 Válvula de compuerta	
F-121 Digestato	
K-122 Válvula digital	

**Fuente:** Elaboración propia.

### Estudio financiero

Mediante un estudio de costos, el precio final del tanque de biometano fue de \$341.37, a continuación, se describe en una matriz de costo precio, los datos involucrados en el precio del producto.

**Tabla 15**

Costo precio

		Mes	Pieza			Costos Fijos			Costos Variables
+	Mano de obra	\$ 217,731.56	\$ 31.62	2do	60%	\$ 130,638.93	40%		\$ 87,092.62
+	Materia prima	\$ 63,686.25	\$ 9.25	3ero			100%		\$ 63,686.25
+	Insumos	\$ 34,400.00	\$ 5.00				100%		\$ 34,400.00
+	Indirectos	\$ 75,536.67	\$ 10.97		100%	\$ 75,536.67			
+	Calidad	\$ 150,762.78	\$ 21.90		100%	\$ 150,762.78			
+	Mantenimiento	\$ 113,670.00	\$ 16.51		100%	\$ 113,670.00			
+	Depreciación	\$ 48,405.50	\$ 7.03		100%	\$ 48,405.50			
+	Amortización	\$ 3,875.00	\$ 0.56		100%	\$ 3,875.00			
=	Costo de producción	\$ 708,067.75	\$ 102.84						
+	Costo de administración	\$ 143,040.97	\$ 20.78		100%	\$ 143,040.97			
+	Costo de venta	\$ 420,830.74	\$ 61.12	1er	100%	\$ 420,830.74			
=	Costo total operación	\$1,271,939.47	\$ 184.74						
+	Costo de financiamiento	\$ 60,858.99	\$ 8.84			<b>Imp fijos</b>	\$ 1,086,760.59	<b>Imp. variable</b>	\$ 185,178.87
35%	Impuestos (33% a 40%)	\$ 445,178.81	\$ 64.66					Mes	\$ 1,271,939.47
45%	Utilidad que permita	\$ 572,372.76	\$ 83.13					Piezas mes	6,885
	Importe de ventas	\$2,350,350.04	\$ 341.37	Por tanque				<b>Costo variable unitario</b>	\$ 26.90

**Fuente:** Elaboración propia.

### Estado de resultados pro-forma

Se le conoce como pro-forma ya que se realizan proyecciones a 5 años, y esto nos permite conocer los resultados económicos que tendrá la empresa (Baca, 2013).

A partir de un análisis de este tipo se puede conocer las ganancias siempre que se conozca la utilidad y los flujos netos de efectivo, estos últimos son importantes ya que son empleados en la evaluación económica, mientras mayor son los FNE mejor es la rentabilidad económica del proyecto.

En el cuadro siguiente se pueden observar cada uno de estos datos, para el presente proyecto existe un incremento de estos por lo que se demuestra que producir y envasar biometano es rentable, posteriormente se mostrarán otros métodos que confirman esta idea. De igual forma en el cuadro se presentan las condiciones empleadas para el proyecto.

**Tabla 16**

*Estado de resultados pro-forma*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Capacidad</b>	40%	70%	80%	90%	100%
<b>Meses de trabajo</b>	5	12	12	12	12
<b>Incremento de precio</b>	\$ -	\$ 1.03	\$ 1.03	\$ 1.04	\$ 1.04
<b>Precio venta</b>	\$ 341.37	\$351.61	\$ 362.16	\$ 376.65	\$ 391.71
<b>Utilidad marginal</b>	\$3,284,564.57	\$14,090,070.95	\$ 16,443,279.92	\$ 19,154,327.88	\$ 22,035,528.76
<b>Utilidad bruta</b>	\$1,426,513.20	\$ 8,501,372.05	\$ 9,988,663.79	\$ 11,762,211.23	\$13,629,965.63
<b>Utilidad neta</b>	\$927,233.58	\$5,525,891.83	\$5,493,765.09	\$ 6,469,216.17	\$ 7,496,481.10
<b>Flujo neto de efectivo</b>	\$ 596,619.78	\$5,080,320.45	\$ 4,919,441.22	\$ 5,718,785.52	\$ 6,256,091.33

**Fuente:** Elaboración propia.

### Punto de equilibrio

Conocer el punto de equilibrio es relevante para identificar la cantidad de tanques que el proyecto debe vender para igualar las pérdidas con las ganancias.

Para conocer el punto de equilibrio se empleó la siguiente ecuación a partir de datos que se presentan en la tabla costo precio.

$$\text{Punto de equilibrio (tanques)} = \frac{\text{Importe de los costos fijos} * 12 \text{ meses}}{\text{Precio venta unitario} - \text{costo variable unitario}}$$

$$\text{Punto de equilibrio (tanques)} = \frac{\$1,086,760.59 * 12 \text{ meses}}{\$341.37 - \$ 26.90}$$

$$\text{Punto de equilibrio (tanques)} = 41,469$$

En el cuadro siguiente se presentan los datos requeridos para graficar el punto de equilibrio, este gráfico es de utilidad ya que permite apreciar a lo que se refiere el término. Una vez realizado los cálculos, se grafica los ingresos de ventas y el costo total con respecto al número de tanques, tal como se muestra en la figura siguiente.

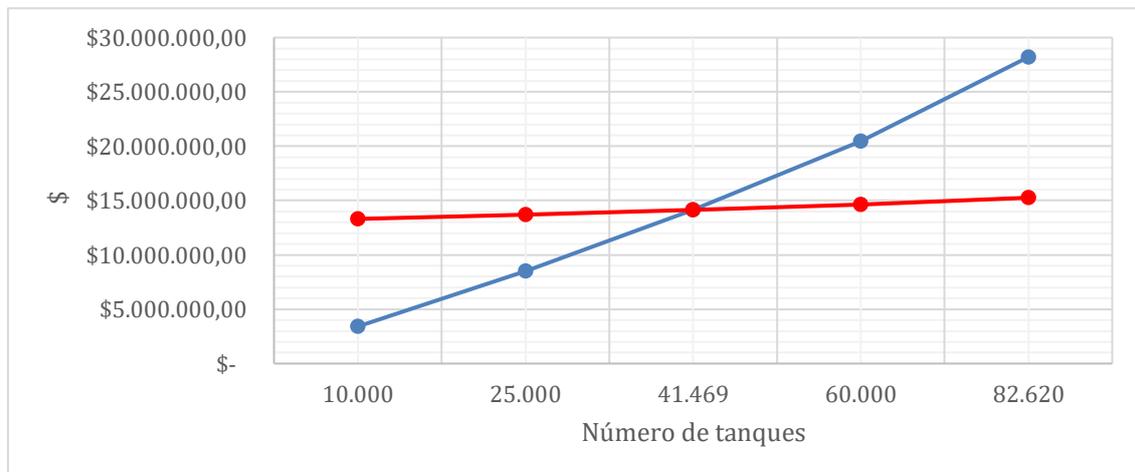
**Tabla 17**

*Datos para punto de equilibrio*

Tanques	Ingreso ventas	Costo fijo anual	Costo variable	Costo total	Diferencia
10,000	\$3,413,725.54	\$13,041,127.14	\$ 268,959.87	\$13,310,087.01	-\$ 9,896,361.47
25,000	\$8,534,313.85	\$13,041,127.14	\$ 672,399.68	\$13,713,526.82	-\$ 5,179,212.97
41,469	\$14,156,485.25	\$13,041,127.14	\$1,115,358.11	\$14,156,485.25	\$ -
60,000	\$20,482,353.25	\$13,041,127.14	\$1,613,759.24	\$14,654,886.37	\$ 5,827,466.88
82,620	\$28,204,200.43	\$13,041,127.14	\$2,222,146.47	\$15,263,273.61	\$12,940,926.82

**Figura 4**

*Punto de equilibrio*



**Fuente:** Elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede apreciar que el punto de equilibrio (41,469 tanques) es la cantidad en donde las ganancias y pérdidas se igualan, así mismo lo que está por debajo del punto de equilibrio son pérdidas, y lo que está por arriba de este se distribuye en utilidad, impuesto y financiamiento.

Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

El cálculo de la TMAR, VPN y TIR, son datos relevantes para los inversionistas, ya que con estos puedan conocer la rentabilidad de cualquier proyecto. En el siguiente cuadro se presentan los valores obtenidos.

**Tabla 18**

*Valores de TMAR, VPN y TIR para el proyecto*

TMAR	VPN	TIR
------	-----	-----

18.65 %	\$7,499,337.69	52.26%
---------	----------------	--------

**Fuente:** Elaboración propia.

### Análisis de Sensibilidad

Consiste en hacer una serie de simulaciones para ver qué tan sensible es el proyecto a aumentos de 50% en los siguientes aspectos; costos de materia prima, mano de obra y costo de venta, también se realiza un caso en donde se incrementen los tres un 50%. Para la realización de este análisis se mantiene el valor original del importe de venta por mes y por tanque (tabla 17).

A continuación, se muestran los resultados del valor de la TIR Y VPN para estas simulaciones.

**Tabla 19**

*Análisis de sensibilidad*

Análisis de sensibilidad		
Caso	VPN	TIR
Original	\$7,499,337.69	52.26%
Incremento de 50% al Costo de venta	\$ 3,805,263.53	36.40%
Incremento de 50% al Costo de mano obra	\$ 5,697,934.05	44.88%
Incremento de 50% al Costo de materia Prima	\$ 6,940,073.04	49.90%
Incremento de 50% a los 3 costos	\$ 1,445,121.81	25.70%

**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis de sensibilidad tiene como objetivo observar el comportamiento de la rentabilidad económica bajo ciertos parámetros cambiantes, con esto vemos cuán sensible es la TIR ante cambios en determinadas variables del proyecto (Baca, 2013), con este ejercicio notamos que para nuestro proyecto en cualquiera de los 4 casos no se ve afectada de forma significativa la TIR por lo que no es sensible a un aumento en los costos de venta, mano de obra y materia prima, además de mantenerse la VPN siempre positiva y mayor a cero, lo que nos indica de cierta forma ingresos para la microempresa.

### Beneficios ambientales

La producción de biogás a partir de excremento bovino tiene múltiples beneficios ambientales. En primer lugar, el proceso de digestión anaerobia que se utiliza para producir biogás a partir de excrementos de animales reduce significativamente la cantidad de residuos orgánicos que se descargan en los vertederos, disminuyendo así la contaminación del suelo y la emisión de gases de efecto invernadero.

Además, el biogás producido puede ser utilizado como una fuente de energía renovable, lo que disminuye la dependencia de combustibles fósiles y reduce la emisión de gases de efecto invernadero relacionados con la producción y consumo de estos combustibles.

Otro beneficio ambiental importante es la reducción de olores y la mejora de la calidad del aire en las zonas cercanas a las explotaciones ganaderas, ya que el proceso de digestión anaerobia disminuye la emisión de gases de olor desagradable como el sulfuro de hidrógeno y el amoníaco.

### DISCUSIÓN

Implementar una propuesta de este tipo contribuiría a alcanzar algunas de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible que marca la Agenda 2030.

Puesto que, se promueve el uso de procesos industriales limpios, se eliminan las condiciones que propician enfermedades o la infiltración de contaminantes al agua subsuperficial por el mal manejo de estiércol bovino y se disminuyen los GEI emitidos a la atmósfera. Los siguientes son estimaciones que se realizaron a partir del cálculo con fórmulas del INECC (2022) del curso acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Línea base (emisión general sin aprovechamiento de estiércol): 4,727.18 tCO<sub>2</sub>/año.

Potencial de mitigación (emisión implementada el proyecto): 1,033.20 tCO<sub>2</sub>/año.

Es decir, producir gas combustible a partir de estiércol bovino ayuda a dejar de emitir más de mil toneladas de CO<sub>2</sub> en el municipio de Ixtapaluca, como consecuencia de la incorrecta disposición final de estos residuos.

Para el presente proyecto se obtuvo un valor de la VPN de \$7,499,337.69, por lo que la VPN al ser mayor que cero, implica que implementar este modelo de negocio tendrá un crecimiento en 5 años por arriba de la TMAR, con un retorno de la inversión (\$6,085,899) en menos de 3 años. Aunado a lo anterior se obtuvo un valor de la TIR de 52.26 % siendo mayor que el valor de la TMAR que es de 18.65 %, por lo que al ser mayor el valor de la TIR nos indica que el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable y por lo tanto la inversión es económicamente rentable. Así mismo, para el proyecto se obtuvo un punto de equilibrio de 41,469 tanques, este dato indica el momento en que los ingresos de la empresa cubren sus gastos fijos y variables, es decir, cuando se logra vender lo mismo que se gasta, no existen ganancias ni pérdidas, demostrándose que para que la empresa comience a generar ganancias debe rebasar el número de tanques encontrados en el punto de equilibrio, dicho de otra forma y observando la figura 4, todo lo que esté por debajo del punto de equilibrio serán pérdidas y todo lo que esté por arriba del punto serán ganancias repartidas en financiamiento, impuestos y utilidades.

Se obtuvo un precio de tanque de 20 kg de biometano es de \$341.37 es decir que por kg de biometano su precio es de \$17.06, el cual comparado con el precio del gas LP que actualmente maneja la Comisión Reguladora de Energía para su venta en el municipio de Ixtapaluca es de \$18.62 por lo que es mucho menor el precio con el cual se pondrá a la venta los tanques de biometano.

Con base en el estudio de mercado realizado se determinó que un tanque de 20 kg de gas LP dura un mes en los hogares de Ixtapaluca, esto significa que la cantidad de calor combustible que consumen al día es de 7917 kcal, por lo que, un tanque con biometano de 20 kg les duraría en sus hogares 22.7 días, es decir, para suplir los 20 kg de gas LP al mes (30 días) se necesitan 26.43 kg de biometano en el mismo periodo. El costo será menor considerando que el precio de un tanque de 20 kg de gas LP oscila entre los \$400-\$500 en el municipio de Ixtapaluca, además, que este precio suele aumentar por la demanda, competencia e inversión.

**REFERENCIAS**

Baca, U. G. (2013, 14 enero). Evaluación de proyectos (7.a ed.). McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 40-41.

Bermúdez, C. y Díaz, M. (2010). Diseño de una planta de producción de biogás. [Tesis, Ingeniería Electrónica, Universidad Industrial De Santander]. Repositorio <http://www.enjambre.gov.co/enjambre/file/download/136805>

Castillo, V. (2013). Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. [Tesis de licenciatura, Universidad del Bío-Bío]. [http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf)

Çengel, Y. A., y Boles, M. A. (2009). Termodinámica / (7a. ed.). México: MCGRAW-HILL

Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. NRF-009-PEMEX-2001, identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento. 16 de abril de 2001

Díaz, A. (2019). Diseño de una planta de producción de biogás. [Tesis, Ingeniería Química, Universidad Nacional de Mar del Plata UNMDP]. Repositorio Institucional de la UNMDP. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/345/ADiaz-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Doroteo, J. C. (2012). Aprovechamiento de biogás proveniente del abono de ganado vacuno de un establo ubicado en Ixtapaluca Estado de México. Repositorio digital IPN, 1–9. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/5606>

Durazno, A., D. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas [Tesis Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>

Gómez-Rosales, S., Angeles, M., Mariscal-Landín, G., López-Hernández, L.H. y Hernández-Andrade, L. (2022). Cambios químicos, microbiológicos y en resistencia antimicrobiana en lombricompostas de estiércol de cerdo por efecto de la relación carbono: nitrógeno inicial. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 18(2):56-67. <https://doi.org.1033154/rln.2022.02.02>

Gruber, S., Hilbert, J. y Sheimberg, S. (2010). Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1 MWel con una planta de biogás de alta eficiencia. Buenos Aires: INTA N Doc BC-INF-16-10.

INECC. ( 20 de Junio -9 de Diciembre de 2022). Curso acciones de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. SEMARNAT, México.

INEEC. (2015). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2015. <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>

INEGI. (2021). División municipal. Estado de México. [https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/div\\_municipal.aspx](https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/div_municipal.aspx)

Instituto Internacional de Recursos Renovables. (2014). Manual para la implementación de proyectos de captura de metano emitido por la agricultura y ganadería en México. Versión 1.2. 1-157

Montesinos, J.J. (2009). Diseño y Construcción de un Intercambiador de Calor para el Biodigestor a Escala Piloto y Control de las Condiciones de Temperatura. [Tesis licenciatura, Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1117/1/93529.pdf>

Olumide, W.A., Yaqian, Z., Ange, N., Doan, P.H. & Nathalie, L. (2017). A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies: Review. Waste and Biomass Valorization, HAL open science, 8 (2), 267-283. 10.1007/s12649-016-9826-4

Pérez, A., Pérez, E. J., Heredia, A. & Pazos, L. (2019). Diseño de un intercambiador de calor de serpentín para el enfriamiento de acetona. NEXO. 32 (1), 61-74. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7988>

Secretaría de Energía (SENER). (2021). Datos Abiertos del Gobierno de la República. [https://datos.gob.mx/busca/organization/304f3054-b09e-488c-87d7-902cb705e53c?res\\_format=CSV&organization=sener](https://datos.gob.mx/busca/organization/304f3054-b09e-488c-87d7-902cb705e53c?res_format=CSV&organization=sener)

Secretaría de Energía. (SENER). Norma Oficial Mexicana NOM-008-SESH/SCFI-2010, Recipientes transportables para contener Gas L.P. Especificaciones de fabricación, materiales y métodos de prueba. 24 de diciembre de 2009.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). (2020). Ganado registrado en producción. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2020/archivos/02\\_agrigan/d2\\_agrigan\\_04\\_10.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/archivos/02_agrigan/d2_agrigan_04_10.pdf)

Varnero, M.M.T. (2011). Manual de biogás. Gobierno de Chile, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura. Santiago de Chile. 1-119.

Varnero, M.T. (1991). Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.