

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Propuesta de diseño de planta de producción de biogás a partir de  
lactosuero para reducir costos energéticos**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Sol Maria Larios Davila**

**ASESOR**

**William Enrique Escribano Siesquen**

<https://orcid.org/0000-0003-3086-1170>

**Chiclayo, 2025**

**Propuesta de diseño de planta de producción de biogás a partir de  
lactosuero para reducir costos energéticos**

PRESENTADA POR  
**Sol Maria Larios Davila**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

Diana Peche Cieza  
PRESIDENTE

Oscar Kelly Vasquez Gervassi  
SECRETARIO

William Enrique Escribano Siesquen  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su amor, apoyo incondicional y sacrificio me han guiado a lo largo de mi vida y mis estudios. A ellos, por ser mi ejemplo de perseverancia y esfuerzo, y por motivarme a alcanzar mis metas. Dedico también este logro a mis amigos y seres queridos, que han estado presentes en cada paso de este camino, brindándome su ánimo y compañía.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este estudio principalmente a mis asesores y docentes del curso, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias, guiándome con paciencia y dedicación durante todo el proceso.

# Propuesta de diseño de planta de producción de biogás a partir de lactosuero para reducir costos energéticos

## INFORME DE ORIGINALIDAD

**21** %

INDICE DE SIMILITUD

**20** %

FUENTES DE INTERNET

**6** %

PUBLICACIONES

**10** %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<a href="https://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>4</b> %
<b>2</b>	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<a href="https://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>5</b>	<a href="https://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>6</b>	<a href="https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve">revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>7</b>	<a href="https://hemeroteca.unad.edu.co">hemeroteca.unad.edu.co</a> Fuente de Internet	<b>&lt;1</b> %
<b>8</b>	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	<b>&lt;1</b> %

## Índice

Resumen .....	6
Abstract .....	7
Introducción .....	8
Revisión de literatura .....	10
Materiales y métodos .....	16
Resultados y discusión .....	17
Conclusiones .....	35
Recomendaciones.....	36
Referencias .....	37
Anexos.....	43

## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo diseñar una planta que transforme el lactosuero residual en biogás para disminuir costos energéticos en una industria láctea. Para la evaluación del primer objetivo; se realizó un análisis de la demanda energética de la empresa estudiada y se calculó la proyección de la oferta de energía de la propuesta, la cual está en base a la proyección de la generación de biogás, concluyendo que si se podrá satisfacer la demanda. Posteriormente, se hizo el diseño de la planta basando la capacidad de esta en la proyección de la demanda, y posteriormente se hizo la selección de tecnología, y aplicación del método Guerchet para establecer las áreas de trabajo y el layout de la planta, determinando que se requerirá un área de de 155,46 metros cuadrados para obtener una producción de 148 979,53 kWh anuales. Finalmente, la evaluación económica y financiera estimó una inversión total de S/ 232 088,16, para la cual se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) de S/ 289 972,90 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 56,32% superando la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) de 17,78%, confirmando así la viabilidad del proyecto.

**Palabras clave:** Biogás, energía renovable, plantas industriales.

### **Abstract**

The objective of this study is to design a plant that transforms residual whey into biogas to reduce energy costs in a dairy industry. For the evaluation of the first objective, an analysis of the energy demand of the company studied was carried out and the projection of the energy supply of the proposal was calculated, which is based on the projection of biogas generation, concluding that it will be possible to satisfy the demand. Subsequently, the plant was designed based on the capacity of the plant based on the demand projection, and then the technology selection was made, and the Guerchet method was applied to establish the work areas and the layout of the plant, determining that an area of 155,46 square meters will be required to obtain a production of 148 979,53 kWh per year. Finally, the economic and financial evaluation estimated a total investment of S/ 232 088,16 , for which a Net Present Value (NPV) of S/ 289 972,90 and an Internal Rate of Return (IRR) of 56,32% were obtained, exceeding the Minimum Acceptable Rate of Return (MARR) of 17,78%, confirming the viability of the project.

**Key words:** Biogas, renewable energy, industrial plants.

## Introducción

Dentro de un mundo de evolución constante y en el que se ha generado una cada vez mayor conciencia ambiental, se ha convertido en prioridad para todas las empresas la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes para la producción de energía en todos los sectores. Problemas como la escasez de recursos, la dificultad de aprovisionamiento y la dependencia energética a fuentes no renovables [1] son solo algunas de las causas por las que las empresas deben buscar la transición hacia fuentes limpias de energía, ya que la adopción de energías sostenibles es la solución más viable para reducir los efectos del cambio climático, además de que contribuye a asegurar una mayor seguridad energética y una economía más inclusiva y equitativa.

En el Perú, la industria láctea presenta una gran relevancia para el sector agropecuario y la economía del país. Sin embargo, a medida que se busca fortalecer la economía sin descuidar los compromisos ambientales, como el Acuerdo de París [2], surgen desafíos particulares tales como la gestión de sus subproductos o la optimización de sus costos energéticos, pues estos últimos representan un promedio del 9% de los costos totales de las empresas lácteas [3]. Y de todos los departamentos del país, Cajamarca resalta dentro de esta industria, destacando su producción de queso, pues en el último año ha registrado una producción de leche anual que supera los 361 000 000 litros, esto equivale al 19% de la producción nacional. Asimismo, en cuanto a cantidad de plantas queseras esta es la segunda con mayor cantidad, y la primera productora a nivel nacional, con una producción anual en litros de 361 millones [4].

Uno de los principales residuos generados en la fabricación de los productos lácteos es el suero de leche, el cual es una fuente rica en carga orgánica y alto valor nutricional por ser producto de la leche, no obstante, aunque no lo parezca, su alto valor nutricional hace que este sea un producto muy contaminante de ser vertido en aguas o suelos [5]. Es por esto que existen muchas investigaciones dedicadas a estudiar el tratamiento de este residuo para convertirlo en un nuevo producto, tales como la propuesta de obtención de bioplástico a partir de lactosuero [6], o la de transformar el suero de leche en concentrados proteicos [7]. Sin embargo, uno de los usos más novedosos que se puede dar al lactosuero es para la producción de biogás [8], con lo que se convertiría en fuente de energía para la misma empresa, aportando a la reducción de costos, mejorando su gestión de subproductos y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Actualmente, el mundo enfrenta problemas energéticos pues desde ya se está buscando soluciones para la inminente escasez de recursos, y esto, combinado con la demanda en aumento y los incrementos en los costos de la producción de electricidad hacen que la generación de energía renovable a partir de materias orgánicas, una alternativa eficiente para el desarrollo sostenible. Por otro lado, ya es sabido que el suero de leche es un agente contaminante tanto para suelos como para el agua [5], por lo que su transformación en una fuente de energía es esencial para reducir la contaminación producida por las empresas lácteas.

Es por esto que se propone estudiar el diseño una planta de producción de biogás a partir del suero de leche residual de la producción de queso, debido a que no solo busca dar un aprovechamiento a este residuo, sino que también contribuye a la reducción de los costos energéticos ya que se podrá reutilizar como fuente energética. Además, la inversión reflejará resultados en la reducción de costos ya que se está utilizando un residuo descartado al cual no se le había dado otra finalidad más que la disposición final vertiéndolo en ríos o como alimento de animales [9].

Por otro lado, con la propuesta presentada se cumplen con los Objetivos de Desarrollo Sostenible tales como la producción y consumo responsables y la acción por el clima [10], al hacer un mejor uso de los recursos y mejor cuidado del ambiente natural. De igual forma se logra cumplir con la norma ISO 50001, dado que asiste a las instalaciones en la evaluación y la determinación de la implementación de tecnologías de eficiencia energética, así como en la mejora de la eficiencia y el consumo energético.

Por esta razón, se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo aprovechar el lactosuero residual de las empresas agropecuarias de la región Cajamarca para la producción de biogás y disminuir sus costos energéticos? Para ello, el objetivo general es proponer el diseño de una planta de producción de biogás a partir del lactosuero residual de las empresas agropecuarias de la región Cajamarca para la disminución de los costos energéticos; teniendo como objetivos específicos, realizar el estudio del lactosuero residual aprovechable para la producción de energía de las plantas industriales en Cajamarca y sus alrededores, plantear el diseño de la planta de producción de biogás a partir de lactosuero y finalmente, realizar la evaluación económico financiera de la propuesta. Con lo cual, se pretende fomentar la sostenibilidad y eficiencia en la producción de alimentos.

## Revisión de literatura

En el estudio de Martín Herrera [9] se hizo una investigación sobre la reutilización del lactosuero y residuos alimentarios para el aprovechamiento energético. En donde se realizó un análisis sobre la viabilidad de utilizar residuos como lactosuero, restos de pan y salvado para la producción de biogás, con el objetivo de aprovechar las cantidades generadas anualmente de estos materiales. Se emplearon técnicas de digestión anaerobia para procesar los lactosueros y residuos alimentarios, asimismo, realizaron experimentos en condiciones controladas para medir la producción de biogás y analizar su composición. Encontrando un alto potencial de los lactosueros y residuos alimentarios para la producción de producto, que es el biogás. Se observó una producción significativa de metano, lo que indica que estos residuos pueden ser una fuente viable de energía renovable.

En la investigación realizada por Ramírez Alvarado [11], se hizo un estudio de la obtención de biogás a partir de suero lácteo residual en Colombia, para lo cual se procedió a determinar los factores determinantes para la producción de biogás, siendo estos factores como el pH y la temperatura, además de identificar el inóculo más adecuado para la producción. Del estudio se concluyó que el inóculo más favorable para la producción es el estiércol bovino, obteniendo una producción de 1 750 kWh con 1 000 L de lactosuero. Concluyendo que la producción de lactosuero en Colombia tiene el potencial de convertirse en un insumo clave para impulsar la industrialización sostenible del sector lácteo y de toda su cadena productiva, representando una alternativa prometedora para la obtener energía en áreas rurales.

De igual forma, en la investigación realizada por Jordán-Bouchón [12] se realizó un análisis de la generación de biogás mediante la combinación de dos fuentes orgánicas: el suero salado de quesería y el estiércol de cuy. En la que se prepararon diferentes mezclas para identificar la mejor proporción para obtener la mayor producción de biogás, y, por ende, de energía. Obteniendo que la mezcla de 90:10 de lactosuero y biogás es la mejor opción, con una producción de 10 m<sup>3</sup> de biogás al mes con 250 litros de lactosuero. Al hacer la evaluación se determinó que la mezcla con mayor producción de biogás fue la que contenía mayor proporción de lactosuero, debido a su alta carga orgánica, y se identificaron los criterios ideales de operación para la digestión anaeróbica de cada mezcla.

La investigación de Schachenmayr [13], buscó hacer un análisis de la capacidad del suero lácteo para generar biogás. En él se hizo un estudio de la viabilidad del uso del lactosuero para

la obtención de biogás, para esto se hicieron distintos ensayos con diversas proporciones de suero y barro activado para identificar la de mejor rendimiento, evaluando variables que afecten la producción como la temperatura, pH de la mezcla y la proporción de suero e inóculo a utilizar. Concluyendo la factibilidad del uso del lactosuero como materia prima para la generación de biogás con una producción de 3,9 m<sup>3</sup> de biogás con 1,5 L de lactosuero.

Asimismo, Gras Puga [14], hizo un estudio para evaluar y diseñar una instalación para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales en la Región Metropolitana de Chile, y determinar su potencial de generación de biogás y biofertilizante. Se determinó que la región posee un potencial para generar 114,000 m<sup>3</sup> de biogás diarios a partir de residuos orgánicos agroindustriales, y se diseñó una planta de biogás con capacidad para procesar 100 toneladas de residuos al día, produciendo 16,000 m<sup>3</sup> de biogás y 32 toneladas de biofertilizante diarios. Por lo que se concluye que la propuesta permitirá valorizar estos residuos, generar energía renovable y producir biofertilizante para la agricultura.

En el estudio de Zevallos Villayán [15], se presentó una propuesta para el diseño de una planta de biogás con el fin de aprovechar los purines porcinos generados en una empresa en Huaral, Perú, para el consumo de energía térmica. Aquí se realizó un análisis de los purines porcinos generados, junto con un diseño del proceso de digestión anaeróbica, un dimensionamiento de los componentes de la planta para posteriormente evaluar económica y ambientalmente el proyecto. De manera que se propuso una planta de biogás con una capacidad de tratamiento de 22,800 kg de purines porcinos por día, generando 186,21 m<sup>3</sup> de biogás por día. Concluyéndose que la implementación de la planta de biogás permitió a reducir los costos de energía de la empresa, disminuir su impacto ambiental y aprovechar un residuo.

De igual forma, Solís Oba [16] llevó a cabo una evaluación sobre la viabilidad de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos para la producción de biogás en una planta centralizada destinada a generar energía renovable. Por lo que se realizaron experimentos de codigestión de diferentes sustratos en reactores de laboratorio, siendo estos sólidos y semisólidos, como estiércol bovino, gallinaza, residuos de alimentos y lodos de depuradoras, se analizaron y evaluaron los resultados. Y se concluyó que la codigestión de residuos es una opción viable para la producción de biogás a gran escala, permitiendo aprovechar diversos tipos de residuos y generar energía renovable de manera eficiente.

Del mismo modo, en la investigación de Nuñez Bosch [17], se hizo un estudio para desarrollar un digestor de biogás para procesar excretas y generar biogás y fertilizante orgánico. En el que se realizó una revisión bibliográfica sobre el diseño de digestores para posteriormente proponer una propuesta de construcción de biodigestor. Finalmente, se evaluó el rendimiento de este mediante el monitoreo de parámetros de producción y la producción de biogás y se analizó la calidad del biogás y el fertilizante producido. Se logró diseñar y construir un digestor de biogás con capacidad para procesar 200 kg/día de excretas, generando 6,1 m<sup>3</sup>/día de biogás y 3,4 t/año de abono orgánico.

Asimismo, en el estudio de Tovar [18] se realizó la elaboración del diseño de una planta de biogás para la generación de electricidad a partir de residuos pecuarios en Venezuela. Para lograrlo se realizó una caracterización de los desechos pecuarios y posteriormente se diseñó la planta de biogás utilizando software de simulación. Obteniendo que un diseño de planta de biogás con capacidad para procesar 50 toneladas/día de desechos pecuarios, generando 250 kW de potencia eléctrica. Y se concluyó que la planta de biogás es una alternativa viable para la obtención de energía eléctrica a partir de desechos pecuarios en Venezuela.

En la investigación de realizada por Bedón Trejo [19] se realizó un estudio con el objetivo de diseñar una planta para la producción de biogás y fertilizante utilizando lodos residuales y cascarilla de nuez de palmiste provenientes de la empresa AEXAV. El estudio incluyó el diseño de la planta, un balance de masa basado en el flujo de 22,000 m<sup>3</sup>/mes de lodos residuales proporcionados por la empresa, el dimensionamiento de los equipos necesarios, la elaboración de un layout y una evaluación económica y financiera. Concluyendo que la implementación representa una rentabilidad para los inversionistas debido a que el VAN es positivo, y el tiempo que a la planta le tomará en recuperar su inversión es de 3 años aproximadamente.

De la misma manera, Otero Guerrero [20], hizo una evaluación del potencial bioenergético de la vinaza para diseñar una planta de biogás para su tratamiento. Haciendo una caracterización de la vinaza en términos de su composición química y potencial bioenergético, se pudo diseñar la planta de biogás utilizando software de simulación. Al evaluar el potencial bioenergético de la vinaza, se determinó que puede generar 500 m<sup>3</sup> de biogás por tonelada de vinaza procesada teniendo una planta de biogás con capacidad para procesar 100 toneladas/día de vinaza y generando 50.000 m<sup>3</sup>/día de biogás.

En la investigación realizada por Bin Khawer [21], se estudió la digestión anaeróbica de lodos para la producción de biogás. Donde mediante la revisión literaria, los autores discutieron los diferentes factores que influyen en la producción. Determinando que esta es una forma eficaz de producir biogás y reducir el volumen de lodos residuales, siendo esta una tecnología sostenible y beneficiosa para el medio ambiente.

Por otro lado, Mirmohamadsadeghi en [22] revisa los diferentes métodos de generación de biogás reutilizando diferentes residuos alimenticios, analizando los factores que afectan la obtención de biogás a partir de desechos de alimentos y el potencial de la producción de biogás a partir de desechos de alimentos para mitigar el cambio climático. Por esta razón, utilizando el método de revisión bibliográfica que luego fue debatida, concluyó que el método más común es la digestión anaeróbica y factores como la carga de la alimentación y el mezclado pueden afectar el proceso.

Actualmente las industrias consumen aproximadamente el 40% de la electricidad a nivel mundial, siendo los motores eléctricos los que consumen dos terceras de ella. Además, según estudios, durante los últimos 30 años el consumo eléctrico en el mundo ha crecido casi tres veces, haciendo énfasis al consumo eléctrico industrial con el mayor índice de crecimiento. Por otro lado, otros ámbitos que experimentaron aumentos incluyen al sector agrícola, los servicios comerciales y públicos y el consumo residencial [23]. Sin embargo, así como el consumo ha ido aumentando de forma escalonada, a su vez, los costos energéticos también han sufrido aumentos por diferentes variables, lo que representa un gran problema para las industrias, ya que se producen dificultades para ellas para afrontar estos gastos, que afectan su competitividad e incluso desafían su subsistencia. Ejemplo de ellos son corporaciones como Fertiberia o Sidenor, las cuales son grandes empresas que debido a los aumentos significativos de los costos energéticos de hasta el 25% fueron obligadas a tomar la decisión de cerrar temporalmente algunas de sus instalaciones. [24] Por esta razón, las empresas están en una búsqueda continua de la reducción de sus costos energéticos no solo para mejorar su rentabilidad a corto plazo, sino que también para fortalecer su posición competitiva y sostenibilidad a largo plazo.

Los costos energéticos son una variable compuesta por el producto del precio de la energía y la cantidad de esta que se utiliza [25]. Una de las mejores formas de reducirlos es buscando la eficiencia energética, esta es una estrategia en la industria no solo para la reducción de costos, sino que también logra mejorar la competitividad y mitigar el impacto ambiental de las empresas. Al emplear medidas como la realización de auditorías energéticas, mejoras en los

procesos, adopción de energías renovables, las empresas pueden optimizar la utilización de sus recursos energéticos y así mitigar su impacto ambiental. Y al reducir su consumo de energía, las empresas pueden aumentar la eficiencia de la producción, mejorando la calidad de sus productos y la capacidad de ofrecer precios más competitivos en el mercado. [26] Las fuentes de energía se distinguen 2 tipos, renovables y no renovables. Primero se tienen a las no renovables, que son aquellas que se obtienen a partir de recursos cuya existencia puede agotarse, o donde su obtención es difícil de encontrar por su costosa localización. Las renovables, son las que se obtienen a partir de recursos ilimitados y son inagotables pues es la misma naturaleza quien se encarga de proporcionarlas y generarlas; estas incluyen la energía eólica, solar, hidráulica, geotérmica, mareomotriz y biomasa. [27]

La energía de biomasa es aquella que se genera por medio de la quema o combustión de materia orgánica. La fuente por la cual se puede obtener la biomasa, puede ser proveniente por cualquiera de los diversos procesos biológicos que se producen a diario. A partir de ella se puede obtener diferentes tipos de productos como calefacción, electricidad y combustibles. Actualmente la fuente de energía más empleada son los combustibles fósiles, sin embargo, debido a la alta contaminación generada por estos ha aumentado la intención de dejar de lado estos combustibles, lo que deja a la energía de biomasa como una de las opciones más eficientes para la obtención de energía de uso tanto diario como industrial. [28] Al hablar del biogás se hace referencia al tipo de gas que es generado ya sea por medios naturales o mediante diferentes dispositivos obteniéndose por medio de reacciones de producen la biodegradación de materia orgánica por acción de microorganismos bajo ciertas condiciones [16].

La producción de biogás consiste en convertir materia orgánica en gases mediante la acción de microorganismos en un ambiente sin oxígeno, un proceso conocido como digestión anaeróbica. En el caso del biogás obtenido a partir de lactosuero, un subproducto de la industria láctea, se llevan a cabo varias etapas. El lactosuero, siendo una fuente rica en materia orgánica, puede aprovecharse para producir biogás a través de un biodigestor continuo. Algunas de las etapas clave en este proceso son las siguientes: [20] Primero se tiene la recolección y almacenamiento del lactosuero, donde este lactosuero se recoge de las instalaciones de procesamiento de lácteos y se almacena en tanques adecuados. Es importante mantener condiciones higiénicas y evitar la contaminación. Para luego realizarle el pretratamiento, el cual tiene como finalidad eliminar impurezas, sólidos no deseados y ajustar las condiciones de pH y temperatura para favorecer la actividad microbiana. Posteriormente, este es agregado al

biodigestor, el cual posteriormente se sella herméticamente para evitar la entrada de oxígeno. Luego se realiza la etapa principal que es la digestión, donde las bacterias anaeróbicas presentes en el biodigestor descomponen la materia orgánica en el lactosuero para producir el biogás. Después de producirse el biogás, se hace una desgasificación que busca liberar el biogás acumulado en el biodigestor.

El suero de leche o lactosuero es el producto resultante que se genera en la producción de queso en la etapa de coagulación. Este subproducto representa alrededor del 90% de la leche y es donde se concentra la mayor parte de sus nutrientes, por lo que contiene la mayor parte de sus compuestos hidrosolubles. Donde su composición está compuesta por lactosa en un 36,5%; proteína en un 6% y calcio en un 0,4%. [29] La producción de biogás en los biodigestores está influenciada por diversos factores que afectan la actividad microbiana y la eficiencia del proceso de digestión anaeróbica. Entre los factores principales se encuentran la composición del sustrato, la temperatura a la que se trabaja y el pH del medio dentro del biodigestor, pues un pH neutro o ligeramente alcalino (entre 6,5 y 8,5) es óptimo para la mayoría de los microorganismos involucrados en la digestión anaeróbica. [30] Finalmente, es importante resaltar el poder calorífico que tiene el biogás el cual varía entre 18.8 y 23.4 (MJ/m<sup>3</sup>), posibilitando su eficiente utilización en varias aplicaciones, como fuente de energía renovable y contribuyendo a la disminución de la emisión de contaminantes al medio ambiente [31]

## **Materiales y métodos**

La investigación presentó dos variables de estudio, la dependiente que son los costos energéticos y la independiente que es el diseño de una planta de producción de biogás a partir de suero de leche. Asimismo, se tuvo un enfoque cuantitativo [32], puesto que se recolectó y analizó información con la finalidad de responder a los objetivos planteados. Del mismo modo la investigación realizada se trató de una investigación descriptiva [33] pues se recolectó información de manera independiente sobre las variables previamente mencionadas.

Se realizó una investigación no experimental [33], debido a que no se intervino de manera controlada en las variables, limitándose a observar los fenómenos en su entorno natural para su análisis. Asimismo, fue una investigación de tipo transversal [33], dado que la información recolectada fue en un momento único en el tiempo. La población del estudio estuvo conformada por las plantas lácteas en la región de Cajamarca, la muestra de este proyecto de investigación se trata de la totalidad del lactosuero que se produce en la empresa estudiada y el muestreo es la proyección de la demanda energética de la empresa. La información utilizada para el proyecto de investigación cuenta con los datos de emisión de lactosuero de la empresa estudiada en el último año. Se buscó usar la información actual, por lo que se revisaron fuentes académicas de los últimos 5 años; de modo que el proyecto tenga un resultado más acercado a la realidad.

Para abordar el primer objetivo del estudio, se realizó el método de análisis de contenido de fuentes primarias donde se realizó una proyección de la demanda energética de la empresa, en base a la demanda actual, y la proyección de la oferta de energía de la planta, basado en la estimación de lactosuero de los siguientes 5 años. Para plantear el diseño de la planta de producción de biogás a partir de lactosuero, se utilizaron diferentes técnicas y se hicieron diversos cálculos como los balances de energía correspondientes, la revisión bibliográfica de fuentes secundarias para la selección de la tecnología a emplear y las máquinas seleccionadas para lograr la transformación del lactosuero en biogás, además de la transformación de este último en energía eléctrica empleable para la empresa, se usó el método de Guerchet para determinar las áreas de trabajo y la elaboración del layout de la planta. Finalmente, para la evaluación de la propuesta (tercer objetivo) se utilizaron las herramientas de VAN, TIR y B/C del proyecto para determinar si la inversión realizada por la propuesta es positiva, la rentabilidad de esta y las utilidades obtenidas por cada sol o dólar invertido.

## Resultados y discusión

*Realizar el estudio del lactosuero residual aprovechable para la producción de energía de las plantas industriales en Cajamarca y sus alrededores*

### *Descripción del producto*

El biogás es un gas que se genera de forma natural o en equipos diseñados para ello, como resultado de la biodegradación de materia orgánica realizada por microorganismos, como las bacterias metanogénicas, en condiciones anaeróbicas. Este gas, obtenido mediante la descomposición de materia orgánica sin oxígeno, es una fuente alternativa y sostenible de energía, que puede utilizarse para generar electricidad limpia. El resultado es una mezcla compuesta principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), que representa aproximadamente el 70% de la mezcla, y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de contener pequeñas cantidades de otros gases como hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Cuyas concentraciones fluctúan en el rango que se presenta a continuación: [34]

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): entre 55 y 70 %.
- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): entre 35 y 40 %.
- Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ): de 0.5 a 5 %.
- Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ): aproximadamente 0.1 %.
- Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ): entre 1 y 3 %.

Lo que diferencia al biogás de otros gases con una composición similar es su origen. Este gas puede generarse a partir de casi cualquier fuente natural donde ocurra la desintegración de materia orgánica. Sin embargo, en el presente proyecto, se obtendrá este producto resultado de la biodigestión de lactosuero, el cual es el residuo de la producción de queso de la empresa estudiada, ubicada en el distrito de Encañada, Cajamarca. El cual no tiene ningún fin para la empresa por lo que no se le hace ningún tipo de tratamiento de disposición final y es finalmente vertido en los ríos, generando contaminación del agua.

### *Análisis de la demanda*

Para determinar la demanda de energía y por ende de biogás requerida del proyecto se utilizó el registro de la energía que se requiere por la empresa estudiada, la cual está dedicada a la

elaboración de queso. Esto debido a que el fin del biogás a producir busca satisfacer la demanda energética de la empresa, pues se reutilizará para la misma. Esta demanda se calculó teniendo en cuenta la maquinaria utilizada y la potencia de cada una de ellas, en el anexo 2. Asimismo, se consideró un aumento del 3% anual, debido a que con el tiempo las máquinas van utilizando una mayor cantidad de energía.

**Tabla N° 01: Proyección de la demanda**

	2024	2025	2026	2027	2028
<b>kWh</b>	132 366,38	136 337,37	140 427,50	144 640,32	148 979,53

**Fuente: Elaboración propia**

### *Análisis de la oferta*

Para la determinar la oferta de energía, se tuvo en cuenta el lactosuero residual de la empresa el cual determina la oferta de materia prima para producir. El cálculo del lactosuero se hizo en base al ingreso de leche a la empresa, registrado en el anexo 3.

En base a la cantidad de lactosuero residual registrada por la empresa, mediante el método de proyección lineal se hizo un pronóstico de la cantidad de lactosuero a emitir en los siguientes 5 años, anexo 4, para obtener la oferta de biogás y energía a obtener.

**Tabla N° 02: Resumen del lactosuero ofertado en litros**

	2024	2025	2026	2027	2028
<b>Lactosuero (l)</b>	655 131,79	736 150,22	817 168,65	898 187,09	979 205,51

**Fuente: Elaboración propia**

Por lo que teniendo en cuenta estos valores, la cantidad de energía (kWh) proyectada a obtener es la siguiente:

**Tabla N° 03: Resumen de la energía ofertado en kilowatt-hora**

	2024	2025	2026	2027	2028
<b>kWh</b>	147 754,65	166 027,09	184 299,52	202 571,95	220 844,38

**Fuente: Elaboración propia**

Al comparar la oferta proyectada con la demanda proyectada se puede observar que esta logrará satisfacer la demanda requerida sobre la cual se elaborará el plan de producción.

### *Plantear el diseño de la planta de producción de biogás a partir de lactosuero*

#### *Localización*

Para la localización de la planta propuesta, la empresa ha mencionado que desea realizarla en conjunto con su planta procesadora de queso; por lo que se evaluaron diversos factores para determinar si la decisión tomada es la adecuada o no, anexo 5. Una vez analizados los factores se pudo observar que es conveniente que la empresa haya elegido ubicar la planta de producción de biogás adjunta a su planta principal; puesto que se ahorran en costo de transporte, el costo de terreno es bajo, existe mano de obra disponible para trabajar, entre otros.

#### *Capacidad de la planta*

La capacidad de planta para la producción de biogás se encuentra determinada de la siguiente manera. Primero se calculó la cantidad de lactosuero que se producirá cada año, tomando en cuenta que 1 m<sup>3</sup> de puede producir aproximadamente 2,8 kWh [35] de energía eléctrica; de la misma forma, es crucial destacar que este número busca ser una aproximación lo más cercana a la realidad.

**Tabla N° 04: Demanda del proyecto (m<sup>3</sup> de biogás)**

<b>Año</b>	<b>Demanda del proyecto (kWh)</b>	<b>Demanda del proyecto (m<sup>3</sup> de biogás)</b>
2024	132 366,38	47 273,71
2025	136 337,37	48 691,92
2026	140 427,50	50 152,68
2027	144 640,32	51 657,26
2028	148 979,53	53 206,98

**Fuente: Elaboración propia**

Asimismo, se procede a calcular la reserva de capacidad, conocida como colchón de capacidad, que es la cantidad que la empresa mantiene como margen para hacer frente a aumentos inesperados en la demanda o a pérdidas temporales en su capacidad de producción; utilizando la siguiente fórmula [36]:

$$\text{Colchón de capacidad} = 100\% - \text{porcentaje de utilización}(\%)$$

Donde se considerará un porcentaje de utilización del 90% y, por lo tanto, el colchón de capacidad será del 10%. Entonces:

$$\text{Capacidad de planta} = \text{Demanda del proyecto} + 10\%(\text{Demanda del proyecto})$$

$$\text{Capacidad de planta} = 53\,206,98 + 10\%(53\,206,981)$$

$$\text{Capacidad de planta} = 58\,527,67 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

### *Plan de producción*

Para desarrollar el plan de producción, se ha distribuido la producción considerando todos los meses del año; sin embargo, para el primer mes se tuvo en cuenta que habrá una producción menor debido a que cuando comienza la producción se debe esperar un periodo de tiempo para el proceso de biodigestión.

**Tabla N° 05: Plan de producción**

Periodo	Inv. Inicial	Producción	Inv. Total	Consumo	Inv. Final
1 mes	0	1 969,74	1 969,74	1 969,74	0
2 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
3 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
4 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
5 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
6 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
7 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
8 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
9 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
10 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
11 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
12 mes	0	4 118,54	4 118,54	4 118,54	0
1 año	0	47 273,71	47 273,71	47 273,71	0
2 año	0	48 691,92	48 691,92	48 691,92	0
3 año	0	50 152,68	50 152,68	50 152,68	0
4 año	0	51 657,26	51 657,26	51 657,26	0
5 año	0	53 206,98	53 206,98	53 206,98	0

Inventario	0
------------	---

**Fuente: Elaboración propia**

Se ha considerado un inventario entre meses de 0 unidades; puesto que como hablamos de un gas, este no se puede almacenar durante mucho tiempo, teniendo que convertirse en energía que se usa de manera directa para abastecer a la planta.

### *Requerimiento de materiales*

De la misma manera, se calculó el requerimiento de materiales, primero calculando el índice de consumo de 1 m<sup>3</sup> de biogás para los materiales que en este caso solo son directos. Seguidamente se multiplicó dicho valor por la producción hallada anteriormente. Los detalles se encuentran en los anexos 6 y 7.

### *Disponibilidad de materia prima*

Como se mencionó, la producción de biogás se realiza a través de la degradación de materia orgánica, siendo esta la materia prima principal que será tratada. En el presente trabajo se utilizará como materia prima al lactosuero residual de empresa estudiada, la cual es resultado de su producción de queso. Este se trata de un producto lácteo que se obtiene al separar el coágulo de la leche durante la producción de queso.

### *Disponibilidad de insumos críticos*

Unos de los insumos necesarios para la producción es el inóculo, este es el insumo que contiene a los microorganismos encargados de consumir la materia orgánica biodegradable. La biodigestión anaeróbica del lactosuero es un proceso que se puede optimizar mediante el uso de un inóculo adecuado, que proporciona los microorganismos necesarios para la degradación de la materia orgánica y la producción de biogás. En este caso, como mencionó Alvarado en su investigación [11], la opción más recomendada para la biodigestión del lactosuero es el estiércol de animal, los más recomendados son los de vaca o cerdos; pero debido a la actividad económica de la provincia se seleccionó el bovino pues se encuentra en mayor abundancia.

### *Descripción del proceso de producción*

Se debe comenzar definiendo que se tratará de un proceso de flujo continuo. El proceso de producción de biogás, tomando como base el estudio de Ramírez Alvarado [11] es el siguiente:

#### 1. Recolección del sustrato y del inóculo

- Recolección del lactosuero: El lactosuero se recoge de las instalaciones de procesamiento de lácteos y se almacena en tanques adecuados a una temperatura entre 20 –

30°C. Se debe recalcar que el lactosuero debe tener un pH entre 6,5 a 7,5 por lo que si es necesario se debe ajustar para que cumpla las condiciones para realizar el proceso.

- **Recolección del excremento:** Por otro lado, se almacena el excremento que servirá como inóculo por su alta concentración de microorganismo anaeróbicos.

2. **Mezcla del sustrato y el inóculo:** Posteriormente el lactosuero y el inóculo se mezclan a una proporción 70:30, este proceso se realiza en un homogeneizador para asegurar la distribución uniforme de los microorganismos en el sustrato. Se debe tener en cuenta que generalmente el residuo que queda en el mezclador es un promedio de 2-3% [37].

3. **Carga del biodigestor:** Una vez obtenida la mezcla según las condiciones requeridas, esta será cargada en el biodigestor anaeróbico continuo, y posteriormente este será sellado herméticamente. Al tratarse de un proceso a temperaturas termofílicas, la temperatura deberá estar en un rango entre 43 - 55°C con un pH de la mezcla entre 6,8 y 7,2.

4. **Digestión Anaeróbica:** Las bacterias anaeróbicas presentes en el biodigestor descomponen la materia orgánica en el lactosuero para producir biogás. La duración de este proceso varía según el diseño del biodigestor y las condiciones de operación. Aquí suceden distintas etapas, estas son:

- **Hidrolisis:** En esta fase, las bacterias hidrolíticas descomponen los polímeros complejos (como carbohidratos, proteínas y lípidos) en monómeros más simples, como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos.

- **Acidogénesis:** En esta etapa, los ácidos grasos volátiles y los alcoholes se convierten en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono a través de la acción de bacterias acetogénicas.

- **Acetogénesis:** Los ácidos grasos volátiles y alcoholes son convertidos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por las bacterias acetogénicas.

- **Metanogénesis:** Finalmente, las arqueas metanogénicas transforman el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono en metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), lo que da lugar a la producción de biogás.

5. **Recolección del biogás:** Una vez terminado el proceso de biodigestión, se recoge el biogás en una cámara de almacenamiento en la que se mide la calidad y cantidad del biogás.

6. Purificación del biogás: Se emplea el método de filtración por membrana para la eliminación de los gases tóxicos que se encuentran en el biogás generado, donde se hace pasar por un módulo con una serie de membranas que permiten la separación de gases. Donde se extrae el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S para que sean liberados de manera controlada sin afectar al medio ambiente.

7. Conversión a energía: Donde el biogás se introduce en una turbina de gas, en la que el biogás se utiliza para hacer girar una turbina conectada con un generador eléctrico.

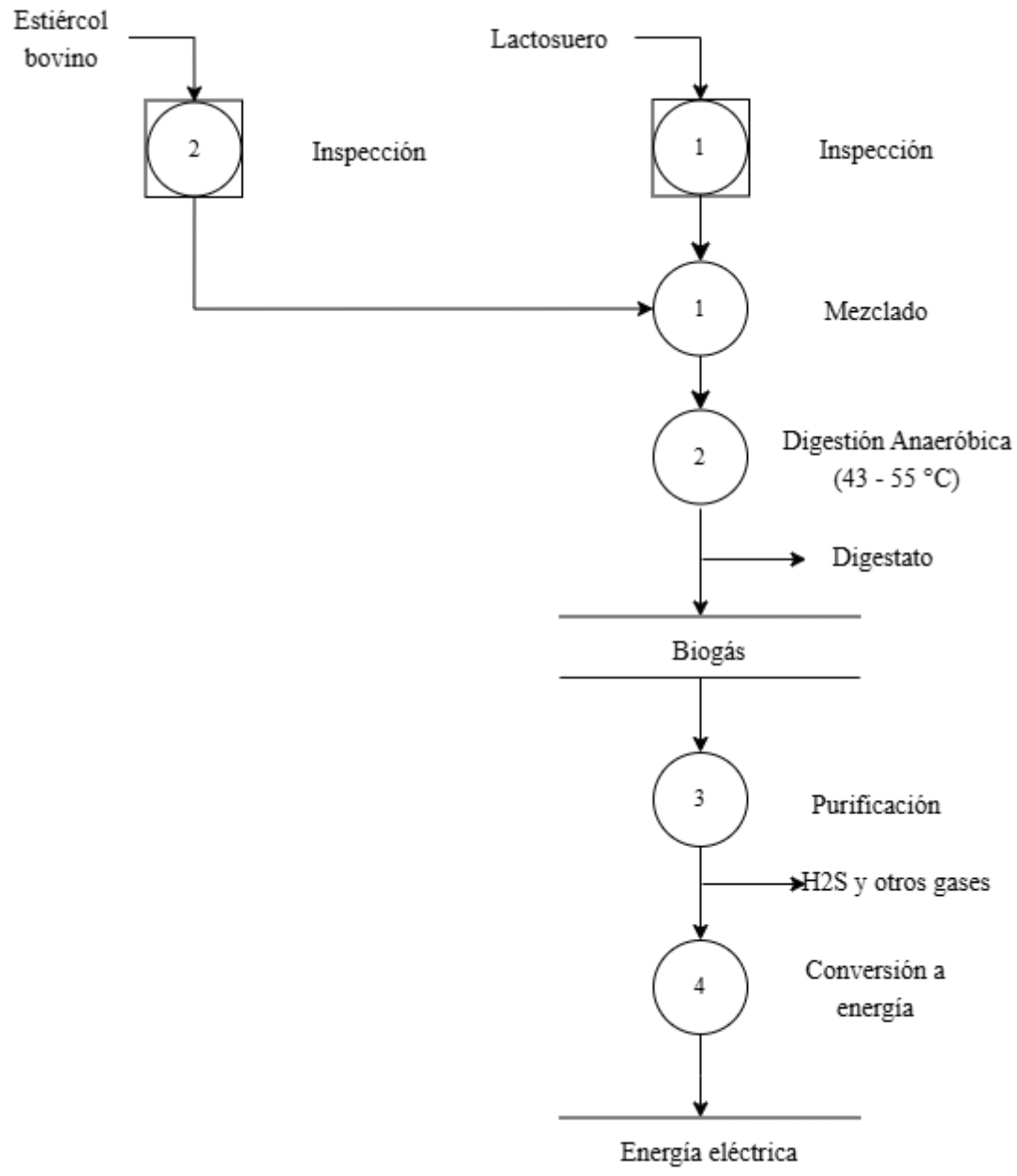
#### *Factores limitantes de la producción de biogás*

Algunas de las variables que tienen mayor importancia en la producción de biogás son las siguientes:

Temperatura: Esta tiene un impacto significativo en el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos. No obstante, el tratamiento anaeróbico se puede llevar a cabo en los tres rangos de temperatura (psicrofílica, mesofílica y termofílica). Generalmente, las bajas temperaturas reducen la velocidad de crecimiento y la actividad metanogénica. La digestión anaeróbica termofílica (43 - 55°C) ofrece una ventaja sobre la mesofílica (37°C), ya que permite una reacción más rápida y una mayor productividad en comparación con la digestión mesofílica.

Potencial de Hidrógeno – pH: El pH es otro factor limitante en el proceso de digestión anaeróbica, ya que impacta directamente la actividad enzimática de los microorganismos. Según los estudios revisados, la mayoría de los microorganismos se desarrollan de manera óptima en un rango de pH de 6,5 a 7,5. Sin embargo, este factor no puede generalizarse, ya que depende de manera directa del tipo de sustrato empleado.

*Diagrama de operaciones*



**Figura N° 01: Diagrama de operaciones de proceso de obtención energía con la producción de biogás**

**Fuente: Elaboración propia**

De igual forma, en el anexo 8 se podrá observar el cursograma del proceso descrito anteriormente.

### *Balance de materia*

Para el balance de masa se ha trabajado con el último año del proyecto; puesto que este es el de mayor capacidad; de forma, que se deben producir mensualmente 4 433,91 m<sup>3</sup> de biogás; lo que si se tiene en cuenta que se trabajan 6 días a la semana por 8 horas da un resultado de 92,37 m<sup>3</sup>/hora de biogás. Este se detalla en el anexo 9.

**Tabla N° 06: Eficiencia por etapa**

Actividad	Entrada	Salida	Eficiencia %	Interpretación
Mezclado	123,74	121,26	98%	Se aprovecha el 98% de materia orgánica que ingresa a la etapa.
Digestión Anaeróbica	121,26	77,96	64%	Se aprovecha el 64% de materia orgánica que ingresa a la etapa.
Purificación	48,41	47,47	98%	Se aprovecha el 98% de gases que producen energía que ingresan a la etapa.
Conversión a energía	25 214,27	10 085,71	40%	Se convierte el 40% de los gases que ingresan a la etapa en energía.

**Fuente: Elaboración propia**

### *Tecnología*

Para seleccionar la maquinaria adecuada, es imprescindible disponer de una variedad de opciones para realizar una comparación exhaustiva y determinar la más apropiada. Del mismo modo, se debe considerar qué máquina es necesaria para cada etapa, así como la capacidad óptima y máxima para satisfacer la demanda, teniendo en cuenta la capacidad de la planta.

Después de realizar una matriz de enfrentamiento para identificar los criterios adecuados a tomar en cuenta para el requerimiento de tecnología. Se seleccionó cada máquina para su respectiva etapa teniendo la siguiente tabla resumen:

**Tabla N° 07: Resumen de la maquinaria seleccionada por etapa**

Etapa	Maquinaria
Recepción biogás	Tanque Storage Tank
Recepción inóculo	Tanque TPTH00009
Homogeneización	Mezclador Vertical XC-JB
Biodigestión	Biodigestor de Laguna Cubierta
Purificación	Torre de absorción
Generación de energía	Turbina open type

**Fuente: Elaboración propia**

### *Requerimiento de mano de obra*

Para seleccionar los operarios adecuados, es esencial llevar a cabo un análisis detallado para cada etapa del proceso, tal como se refleja en el cursograma analítico de procesos presentado en el anexo 8. Como se sabe, en su mayor parte este proceso es operado por las máquinas y no se necesitan operarios para la operación constante de estas. Razón por lo cual se consideraron 2 operarios para el área de recepción en la que cada uno se encargará de la carga y descarga de cada tanque además del control de la materia que ingresa al proceso, 1 operario que será el encargado de la carga y descarga del mezclador y del biodigestor y 1 operario que se encontrará en el área de generación de energía eléctrica. De igual forma también se consideró necesario añadir un ingeniero de planta a la producción quién será encargado supervisar el proceso y un técnico de mantenimiento para hacer los mantenimientos respectivos (preventivos y correctivos) a todas las máquinas del proceso. Teniendo un total de 6 operarios requeridos.

### *Plan de distribución de planta*

La disposición de la planta en el área de producción tiene forma de "U". Esta configuración se seleccionó como parte de una estrategia para optimizar la eficiencia en la producción. Su principal beneficio es la creación de un flujo de trabajo continuo y bien interconectado, que favorece la colaboración y la comunicación eficaz entre las distintas etapas del proceso de fabricación. Para determinar el espacio necesario para ubicar las máquinas, materiales y otros elementos en el terreno, se ha elaborado un plan de distribución de la planta empleando el Método de Guerchet. En este proceso, se ha visto necesario que las únicas áreas necesarias para la construcción son las de recepción, mezclado, producción de biogás, purificado y conversión a energía eléctrica; puesto que el resto se pueden compartir con la planta de producción de la empresa.

**Tabla N° 08: Resumen de áreas**

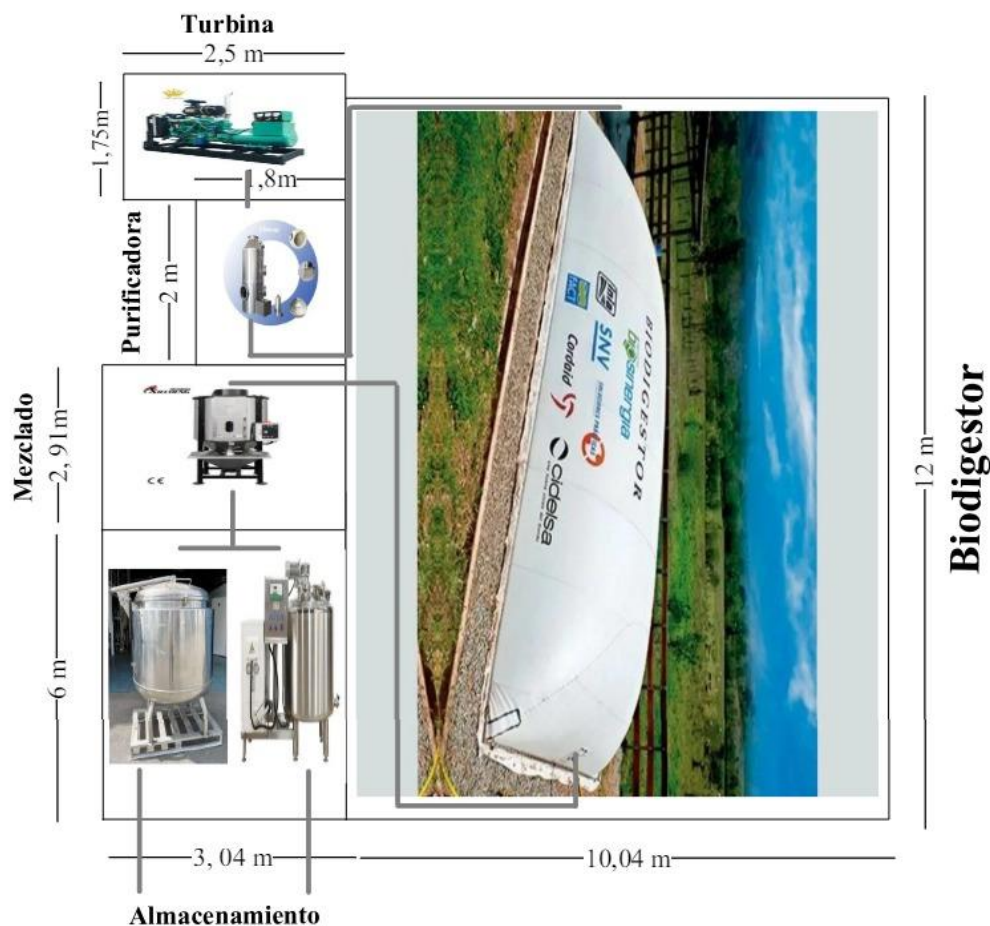
<b>Resumen</b>	<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>
Área de almacenamiento	18,23
Área de mezclado	8,73
Área de producción de biogás	120,45
Área de purificado	3,68
Área de conversión a energía eléctrica	4,37
<b>TOTAL</b>	<b>155,46</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Como se observa, según cálculo original del área del terreno utilizando el método de Guerchet dio como resultado 155,46 metros cuadrados. Sin embargo, con el propósito de tener un margen de espacio adicional, se ha decidido establecer el área total del terreno en 160 metros cuadrados. Esto proporciona un margen de holgura en términos de espacio.

En cuanto a la infraestructura industrial, esta se refiere a las instalaciones físicas y sistemas necesarios para el funcionamiento de una empresa o sector industrial. Esto incluye maquinaria, equipos, áreas de almacenamiento y otras estructuras. En este caso solo se desarrollará la infraestructura industrial puesto que ya cuentan con comedor; áreas de administración, de servicios higiénicos, de despacho y de recepción en la planta principal de producción.

### *Plano general*



**Figura N° 02: Plano de distribución de planta**

**Fuente: Elaboración propia**

*Indicadores finales de producción y productividad del proceso de producción según su capacidad y plan de producción*

Los resultados finales de la producción y la eficiencia del proceso, teniendo en cuenta la capacidad y el plan de producción, se muestran a continuación.

- Producción promedio mensual

De acuerdo con las estimaciones para el año 2028, se prevé alcanzar una producción anual de 53 206,98 m<sup>3</sup> de biogás. Esto se traduce en una producción promedio mensual de:

$$\text{Producción anual} = \frac{53\,206,98}{12} = 4\,433,91 \text{ m}^3/\text{año}$$

- Productividad del proceso

**Productividad de materia prima**

En el último año de la proyección de la demanda, se prevé una producción anual 53 206,98 m<sup>3</sup> de biogás. Para lograr esta cantidad de producción, se requerirá un total de 712 734,03 kg de lactosuero.

$$\text{Productividad de materia prima} = \frac{53\,206,98 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{712\,734,03 \text{ kg de lactosuero}} = 0,0747 \text{ m}^3/\text{kg}$$

**Eficiencia del proceso**

Según el balance de materia, al proceso ingresan 1 237,39 kg de lactosuero del cual el 10% es materia orgánica funcional para la producción de biogás; y luego de haber pasado por todas las operaciones respectivas, se tiene un total de 77,96 kg de biogás, por lo que:

$$\text{Eficiencia de materia prima} = \frac{77,96 \text{ kg de biogás}}{1\,237,39 \text{ kg de lactosuero} \times 10\%} \times 100 = 63\%$$

*Realizar la evaluación económico financiera de la propuesta*

Antes de proceder con todos los montos para la inversión y evaluación económica y financiera, se debe recalcar que se utilizó una tasa de conversión de 3,761 soles a dólares actualizada según la SUNAT [38]. De igual forma, optó por usar la moneda nacional puesto que el sol peruano (S/) se posiciona como la moneda más estable de la región.

*Inversión*

Para la evaluación inicialmente se realizó el cálculo de la inversión; donde se reunieron todos los gastos del año 0; como la inversión tangible mostrada en el anexo 10, estos incluyen costos como compra de maquinaria, construcción del área para la línea de producción, equipos de producción, y la inversión intangible en el anexo 11 que está compuesta por los gastos. Asimismo, se incluyó el capital de trabajo calculado en el anexo 12; los imprevistos que fue un porcentaje del 5% [37], entre otros; todos estos gastos ascienden a un valor de S/ 232 088,16.

**Tabla N° 09: Resumen de la Inversión**

Descripción	Inversión total	Promotor del proyecto	Socio	Financiamiento
Capital de trabajo	S/ 60 042,54	S/ 60 042,54		
<u>Inversión tangible</u>				
Terrenos	S/ 3 691,11			
Construcciones	S/ 14 654,65			
Maquinaria	S/ 101 098,62			
Equipo de producción	S/ 4 549,88			
Total versión tangible	S/ 123 994,26	S/ 44 397,13	S/ 79 597,13	
<u>Inversión intangible</u>				
Estudios	S/ 2 617,80			
Gastos Pre Operativos	S/ 34 381,74			
Total inversión intangible	S/ 36 999,54		S/ 24 842,54	S/ 12 157,00
Imprevistos 5%	S/ 11 051,82			S/ 11 051,82
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>S/ 232 088,16</b>	<b>S/ 104 439,67</b>	<b>S/ 104 439,67</b>	<b>S/ 23 208,82</b>
<b>%</b>	<b>100%</b>	<b>45%</b>	<b>45%</b>	<b>10%</b>

**Fuente: Elaboración propia**

### *Presupuesto de ingresos*

Para los ingresos, se ha considerado el ahorro que se hace de energía, para ello se multiplicará la cantidad de kWh que se generarán anualmente tomando como base el costo del kWh en soles (S/.) el cual es de 0,803 según el BCR [39]. De igual forma, Osinergmin proyecta que habrá un incremento en el precio de las tarifas eléctricas en todo el país, siendo la variación de los usos industriales en un 7,33% [40]. Teniendo los siguientes ingresos por ahorro de energía:

**Tabla N° 10: Ingresos por ahorro de energía**

<b>Año</b>	<b>Ahorro(S/.)</b>
2024	S/ 458 003,59
2025	S/ 506 322,47
2026	S/ 559 739,02
2027	S/ 618 790,91
2028	S/ 684 072,73

**Fuente: Elaboración propia**

Asimismo, se consideró el ingreso por concepto de bono de carbono, ya que, según el Protocolo de Kioto, es posible solicitar este bono al generar energía libre de CO<sub>2</sub>, contribuyendo así a la mitigación del efecto invernadero en varios países. El valor del bono de carbono es de \$63,40 por cada 1000 kg de CO<sub>2</sub> no emitido [41]. Además, el ahorro en kWh puede multiplicarse por el factor de emisión de 0,385, que representa la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido en la generación de esa energía eléctrica utilizada [42].

**Tabla N° 11: Ingresos por bono de carbono**

<b>Año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub> eq</b>	<b>Ingreso por bono de carbono (S/.)</b>
2024	50 961,06	S/ 7 139,65
2025	52 489,89	S/ 12 516,08
2026	54 064,59	S/ 12 891,56
2027	55 686,52	S/ 13 278,31
2028	57 357,12	S/ 13 676,66

**Fuente: Elaboración propia**

### *Costos de producción*

Para calcular los costos de producción se tuvieron en cuenta los precios de los materiales directos para la producción; la mano de obra directa compuesta por los 4 operarios, así como la mano de obra indirecta; conformada por el jefe de producción y técnico de mantenimiento, los cuales se contratarán únicamente para esta nueva línea; también se consideró el mantenimiento de la maquinaria y equipos que es representa el 5% de la inversión en estos y el costo de los equipos de producción que se comprarán anualmente para los 6 operarios. Además, se debe resaltar que los costos están sujetos a la inflación la cual es de 2,2 %. Teniendo la siguiente tabla resumen:

**Tabla N° 12: Resumen de costos de producción**

Ítem	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año
<b><u>Costos Directos de Producción</u></b>					
Materiales Directos	S/135 696,81	S/ 139 767,72	S/ 43 960,76	S/ 148 279,57	S/ 152 727,96
Mano de Obra Directa	S/ 81 540,00	S/ 81 540,00	S/ 81 540,00	S/ 81 540,00	S/ 81 540,00
<b>Total Costos Directos de Producción</b>	<b>S/ 217 236,81</b>	<b>S/ 221 307,72</b>	<b>S/ 225 500,76</b>	<b>S/229 819,57</b>	<b>S/234 267,96</b>
<b><u>Costos Indirectos de Producción</u></b>					
Mano de Obra Indirecta	S/ 77 916,00	S/ 77 916,00	S/ 77 916,00	S/ 77 916,00	S/ 77 916,00
Mantenimiento EPP	S/ 5 282,42	S/ 5 282,42	S/ 5 282,42	S/ 5 282,42	S/ 5 282,42
	S/ 1 797,66	S/ 1 797,66	S/ 1 797,66	S/ 1 797,66	S/ 1 797,66
<b>Total Costos Indirectos de Producción</b>	<b>S/ 84 996,08</b>	<b>S/ 84 996,08</b>	<b>S/ 84 996,08</b>	<b>S/ 84 996,08</b>	<b>S/ 84 996,08</b>
<b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>S/ 302 232,90</b>	<b>S/ 306 303,80</b>	<b>S/ 310 496,84</b>	<b>S/ 314 815,66</b>	<b>S/ 319 264,06</b>

Fuente: Elaboración propia

### *Costos administrativos*

En el caso de los costos administrativos se tuvieron en cuenta los sueldos administrativos; en este caso es el contrato de 2 personas de servicio de limpieza para la línea; consumo de luz eléctrica; y la capacitación de los operarios. Estos gastos son de S/ 81 618,64 en el primer año y S/ 87 933,32 en el último año; además se debe resaltar que los costos están sujetos a la inflación la cual es de 2,2%. En el anexo 13 se describen al detalle.

### Financiamiento

Para el financiamiento se hizo una búsqueda de las tasas de interés de 6 bancos el cual se aprecia en el anexo 14; determinando que la mejor opción es Santander pues tiene la tasa más baja de interés.

### Flujo de caja anual

**Tabla N° 13: Flujo de Caja**

Ítems	0 Año	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año
<b><u>Inversión</u></b>						
Capital Social	S/ 208 879,34					
Préstamos a CP y LP	S/ 23 208,82					
<b>Total Inversión</b>	<b>S/ 232 088,16</b>					
<b><u>INGRESOS</u></b>						
Ingreso por ahorro energético	S/ 458 003,59	S/ 506 322,47	S/ 559 739,02	S/ 618 790,91	S/ 684 072,73	
Ingreso por bono de energía	S/ 7 139,65	S/ 12 516,08	S/ 12 891,56	S/ 13 278,31	S/ 13 676,66	
<b>TOTAL INGRESOS (+)</b>	<b>S/ 465 143,24</b>	<b>S/ 518 838,55</b>	<b>S/ 572 630,58</b>	<b>S/ 632 069,21</b>	<b>S/ 691 749,39</b>	
<b><u>EGRESOS</u></b>						
Costos de Producción	S/ 302 232,90	S/ 306 303,80	S/ 310 496,84	S/ 314 815,66	S/ 319 264,06	
Gastos administrativos	S/ 81 618,64	S/ 83 128,02	S/ 84 682,68	S/ 86 283,98	S/ 87 933,32	
Gastos financieros	S/ 9 943,43	S/ 9 207,71	S/ 8 471,99	S/ -	S/ -	
<b>TOTAL EGRESOS (-)</b>	<b>S/ 393 794,97</b>	<b>S/ 398 639,53</b>	<b>S/ 403 651,51</b>	<b>S/ 401 099,64</b>	<b>S/ 407 197,37</b>	
<b>SALDO BRUTO (=)</b>	<b>S/ 71 348,28</b>	<b>S/ 120 199,02</b>	<b>S/ 168 979,07</b>	<b>S/ 230 969,57</b>	<b>S/ 290 552,02</b>	
Depreciación	S/ 11 996,81	S/ 11 996,81	S/ 11 996,81	S/ 11 996,81	S/ 11 996,81	
<b>SALDO FINAL (FNE)</b>	<b>-S/ 208 879,34</b>	<b>S/ 71 348,28</b>	<b>S/ 120 199,02</b>	<b>S/ 168 979,07</b>	<b>S/ 230 969,57</b>	<b>S/ 290 552,02</b>
<b>UTILIDAD ACUMULADA</b>	<b>-S/ 208 879,34</b>	<b>-S/ 137 531,07</b>	<b>-S/ 17 332,05</b>	<b>S/ 151 647,02</b>	<b>S/ 382 616,60</b>	<b>S/ 673 168,62</b>
<b><u>CORRIENTE DE LIQUIDEZ NETA</u></b>						
<b>DE LIQUIDEZ NETA</b>	<b>-S/ 208 879,34</b>	<b>S/ 71 348,28</b>	<b>S/ 120 199,02</b>	<b>S/ 168 979,07</b>	<b>S/ 230 969,57</b>	<b>S/ 290 552,02</b>
<b>Valor actualizado neto (VAN)</b>	S/ 289 972,90					
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	56,32%					
<b>TMAR</b>	17,78%					

Fuente: Elaboración propia

Con los indicadores, se observa que el VAN es positivo, y la TIR (56,32%) es mayor al TMAR (17,78%), anexo 15, por lo que el proyecto es viable financiera y económicamente.

## Discusión de resultados

Después de analizar la viabilidad del lactosuero residual como fuente de energía para una empresa, se concluye que esta alternativa presenta tanto ventajas como desafíos. Aunque estudios demuestran el potencial energético del lactosuero, la viabilidad de un proyecto de este tipo depende principalmente de la demanda energética que se busca cubrir y de la disponibilidad de lactosuero en la región. Por ejemplo, Herrera [9] señala que para alcanzar la cantidad necesaria de materia orgánica que justifique el aprovechamiento energético, combinó lactosuero con restos de pan, obteniendo un total de 1 002 200 kilogramos anuales de residuos. Esta cifra es significativamente mayor a la cantidad proyectada en el presente estudio, que considera 655 131,79 litros anuales. Sin embargo, las metas de ambos estudios difieren: mientras que la propuesta de Herrera apunta a satisfacer la demanda energética de toda la población de Canarias, el presente estudio tiene como objetivo cubrir únicamente las necesidades energéticas de una empresa específica. Un caso similar es el de Jordán-Bouchón [12], quien requiere 900 543,40 litros para satisfacer la demanda energética del distrito de Santa Rosa de Quives, una escala de consumo distinta a la de este estudio. Estos ejemplos resaltan la importancia de adaptar la producción energética del lactosuero al contexto particular de cada proyecto, considerando tanto la disponibilidad del residuo como la escala de la demanda que se planea cubrir.

Al evaluar la viabilidad técnica de la propuesta, que permitió evaluar las cantidades aprovechadas en cada etapa del proceso, se proyectó una producción mensual de biogás de 4 433,91 m<sup>3</sup>, lo que equivale a 148 979,53 kWh anuales de energía. Al comparar este resultado con estudios de otros subproductos, se observa que es una opción más ventajosa: por ejemplo, la cascarilla de nuez genera 56 106,44 kWh anuales [19], la degradación de residuos de cosecha de tomate alcanza 24 487 kWh anuales [16] y los desechos pecuarios producen 122 500 kWh anuales [18]. Estas diferencias se deben a la capacidad de degradación de cada materia prima, directamente relacionada con su contenido de materia orgánica. Además, la selección del inóculo es crucial para una producción óptima, ya que contiene los microorganismos que descomponen la materia orgánica, acelerando y maximizando la generación de biogás. En esta propuesta, se seleccionó el estiércol bovino como inóculo, dado que, según los estudios de Jordán-Bouchón [12] y Ramírez [11], el uso de suero lácteo combinado con estiércol bovino resultó en mayores producciones de biogás.

En cuanto al estudio económico financiero, se aprobó la viabilidad del estudio, esto se realizó determinando el VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) de la propuesta. En el estudio de Bernal [6], con una inversión de S/ 1 264 945,90 se logró recuperar la inversión en un plazo de 5 años, con un VAN de S/.478 215,86 y una TIR del 23%; por otro lado, Camacho, en [7] determinó que con una duración de 10 años, se logra recuperar la inversión con un TIR del 64% y un VAN de \$477 893, como otro ejemplo se tiene a Grass Puga [14], quién con una inversión de 3.9 millones de dólares obtiene un VAN de 114 millones de dólares y una TIR del 10,4%, como se observa los resultados difieren entre ellos, y esto se debe a la naturaleza de la inversión, puesto que mientras algunas buscan ser plantas grandes, otras son pequeñas extensiones para la elaboración del biogás; además, a pesar de que todos los proyectos son viables se observa que dependiendo del tamaño de la inversión se logra recuperar en mayor o menor tiempo. En contraste, en el presente proyecto se logra un VAN de S/ 289 972,90 y una TIR de 56,32%.

## Conclusiones

Con la propuesta de diseño de planta de producción de biogás a partir del lactosuero residual de las empresas agropecuarias de Cajamarca se logró disminuir los costos energéticos de una empresa productora de queso pudiendo satisfacer sus necesidades energéticas al 100% y reduciendo gastos de hasta S/ 458 003,59. En cuanto al estudio técnico, este determinó que se requerirá una planta de 155,46 metros cuadrados para obtener una producción de 148 979,53 kWh anuales. Finalmente, se observó que el proyecto es viable económicamente puesto que el VAN es positivo y la TIR es mayor al TMAR.

Se estudió el lactosuero residual aprovechable y la demanda de energía requerida para justificar la presente investigación. Haciendo una proyección hasta el 2028 tanto de la demanda energética la empresa estudiada como de la oferta de biogás, y, por ende, de energía a producirse por el aprovechamiento del lactosuero residual de la misma empresa. Obteniendo una demanda proyectada de 148 979,53 kWh anuales y una oferta de lactosuero de 979 205,51 litros, lo que genera una energía de 202 571,95 kWh anuales. Por lo que se demostró que se logrará satisfacer la demanda que requiere la planta durante los siguientes 5 años utilizando el lactosuero residual de la misma.

Se realizó el diseño de planta de producción de biogás a partir de lactosuero, se consideraron factores clave como la capacidad de tratamiento, el tipo de tecnología de digestión anaerobia a emplear, y los factores limitantes de producción. Asimismo, se integraron sistemas de postratamiento para optimizar la eficiencia del proceso y asegurar la calidad del biogás producido, obteniendo como resultado una capacidad de producción de 148 979,53 kWh que es la máxima demanda, requiriendo 712 734, 03 litros de lactosuero y 305 455,93 kilogramos de inóculo y un área total de 155,46 metros cuadrados.

La evaluación económico-financiera de la propuesta demostró la viabilidad del proyecto. A través de herramientas Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) se analizaron los flujos de ingresos y egresos proyectados, así como la rentabilidad de la inversión. Los resultados indicaron que la propuesta es económicamente factible, donde con una inversión de S/ 232 088,16; se obtuvo un VAN positivo de S/ 289 972,90 y una TIR de 56,32% superior a la tasa de ganancia establecida, la cual fue de 17,78%, lo que sugiere que la inversión no solo recuperará su costo inicial, sino que generará beneficios adicionales a largo plazo.

## **Recomendaciones**

Se sugiere a futuras investigaciones explorar nuevas tecnologías de pretratamiento que permitan una mejor extracción de los componentes complejos del lactosuero, como las proteínas y grasas.

Realizar estudios más exhaustivos del impacto ambiental en el proceso de producción de biogás a partir de lactosuero y la posibilidad de aprovechar subproductos del proceso en aplicaciones agrícolas o energéticas.

Realizar estudios de la producción de lactosuero y evaluar su viabilidad económica y ambiental a mayor escala.

## Referencias

- [1] Línea Verde Ceuta, «Guías de buenas prácticas sobre medio ambiente,» 2023. [En línea]. Available: <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/guias-buenas-practicas-ambientales/energia/cuales-son-las-consecuencias-del-malgasto-de-energia.asp#>.
- [2] BBVA Noticias, «¿Qué es el Acuerdo de París y qué supone para el planeta?,» 14 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-acuerdo-de-paris-y-que-supone-para-el-planeta/>.
- [3] J. Doyharzabal, J. Caminos y S. Russillo, «AUDITORIA ENERGÉTICA EN UNA INDUSTRIA LACTEA,» 2015. [En línea]. Available: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/82830/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/82830/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [4] Dirección de Comunicación y Relaciones Públicas - Gobierno Regional Cajamarca, «150 millones de litros de leche destinados a la producción de quesos en Cajamarca, cada año,» 27 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/5990>.
- [5] prolactea.es, «Suero de leche,» 2023. [En línea]. Available: <https://prolactea.es/suero-de-leche/>.
- [6] J. Correa, «PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL SUERO DE LECHE GENERADO POR EL CLÚSTER DE DERIVADOS LÁCTEOS DE CAJAMARCA,» 2021. [En línea]. Available: [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4052/1/TL\\_CorreaBeranalJulia.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4052/1/TL_CorreaBeranalJulia.pdf).
- [7] M. Camacho, «Obtención de un concentrado proteico del suero de leche de vaca utilizando tecnología de membranas,» 8 Enero 2010. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1657>.
- [8] F. O. Schachenmayr, «Evaluación de la capacidad del suero lácteo para la producción de biogás,» Bahía Blanca, 2019.
- [9] J. I. Martín Herrera, «Aprovechamiento energético de lactosueros de queserías y los residuos de otras industrias alimentarias,» 2018.
- [10] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible,» 24 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

- [11] R. Ramírez Alvarado, F. Torres-Payoma, C. Vega Cárdenas, K. Ojeda, M. Escobar Díaz, D. Neira Quintero y N. Vega Velásquez, «OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LACTOSUERO: UNA ALTERNATIVA RESILIENTE,» Diciembre 2021. [En línea]. Available:  
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/download/2428/2006/>.
- [12] Y. Jordán-Bouchon, «Producción de biogás a partir de suero salado de queserías y estiércol de cuy en Santa Rosa de Quives,» Lima, 2020.
- [13] Municipalidad Provincial de Puno, «PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA PROVINCIA DE PUNO,» Puno, 2018.
- [14] B. D. Grass Puga, «Evaluación y diseño para la implementación de una planta de biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales en la Región Metropolitana,» Santiago, 2018.
- [15] W. Chate Mallqui y W. H. Zevallos Villayzán, «Diseño de una planta de producción de biogás para el consumo de energía térmica de la empresa Centro Industrial y Comercial Porcino SAC de Huaral,» Huaral, 2021.
- [16] R. Castro Rivera, M. M. Solís Oba, V. Chicatto Gasperín y A. Solís Oba, «PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE,» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 36, n° 3, pp. 529-539, 01 Septiembre 2019.
- [17] O. M. Nuñez Bosch, «Diseño y construcción de un digestor para la generación de biogás y fertilizante orgánico,» *Scielo*, vol. 43, n° 2, Junio 2019.
- [18] M. G. Mago, J. L. Sosa, B. Flores y L. Tovar, «Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor,» *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 21, n° 2, pp. 60-65, Agosto 2018.
- [19] R. E. Bedón Trejo, «DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y FERTILIZANTE A PARTIR DE LODOS RESIDUALES Y CASCARILLA DE NUEZ DE PALMISTE PROVENIENTES DE UNA EMPRESA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMISTE,» Quito, 2018.
- [20] O. Otero Guerrero, «Evaluación del potencial de producción de biogás a partir de residuos agroindustriales de la caña de azúcar,» 2017.

- [21] M. U. Bin Khawer, S. Raza Naqvi, I. Ali, M. Arshad, D. Juchelková, M. Waqas Anjum y M. Naqvi, «Anaerobic digestion of sewage sludge for biogas & biohydrogen production,» *ScienceDirect*, vol. 329, 2022.
- [22] S. Mirmohamadsadeghi, K. Karimi, M. Tabatabaei y M. Aghbashlo, «Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives,» *Bioresource Technology Reports*, vol. 7, 2019.
- [23] ABB, «El gasto energético en la industria,» 2023. [En línea]. Available: <https://new.abb.com/drives/es/eficiencia-energetica/gasto-energetico-industria>.
- [24] Lantek, «El incremento de los costes energéticos pone en jaque a la industria,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.lantek.com/es/blog/incremento-de-costes-energeticos-pone-en-jaque-a-la-industria>.
- [25] E. ÁLVAREZ PELEGRY, M. LARREA BASTERRA, A. C. DÍAZ MENDOZA y B. KAMP, «¿AFECTAN LOS COSTES DE ENERGÍA A LA COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA?,» Madrid, 2018.
- [26] V. Gonzales Zamora, «EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS,» Lima, 2020.
- [27] M. Salvador Jorge, «Fuentes de energía: tipos e importancia,» 2023. [En línea]. Available: [http://descargas.pntic.mec.es/recursos\\_educativos/It\\_didac/Geo\\_Hist\\_ESO/3/08/40\\_Fuentes\\_Energia/fuentes\\_de\\_energa\\_tipos\\_e\\_importancia.html](http://descargas.pntic.mec.es/recursos_educativos/It_didac/Geo_Hist_ESO/3/08/40_Fuentes_Energia/fuentes_de_energa_tipos_e_importancia.html).
- [28] Endesa, «Energía de biomasa: qué es, cómo funciona y sus ventajas,» 10 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/centrales-electricas/energia-biomasa>.
- [29] R. A. Parra Huertas, «LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS,» 24 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v62n1/a21v62n1.pdf>.
- [30] A. H. TOBON ABELLO, «ANÁLISIS DE LOS POSIBLES FACTORES QUE DIFICULTAN LA IMPLEMENTACION DE BIODIGESTORES TIPO TUBULAR Y CUPULA FLOTANTE EN LAS ZONAS RURALES Y URBANAS DE LA REGION NORTE DE COLOMBIA,» 2018.
- [31] Greening Investments, «Transformando residuos en un futuro sostenible: el potencial energético del biogás,» 2021. [En línea]. Available:

<https://www.greeninginvestments.es/el-potencial-de-energia-del-biogas-2/#:~:text=sus%20necesidades%20energ%C3%A9ticas.-,Potencial%20energ%C3%A9tico%20del%20biog%C3%A1s,la%20reducci%C3%B3n%20de%20emisiones%20contaminantes..>

- [32] A. Muguira, «QuestionPro,» 17 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/disenio-de-investigacion/>.
- [33] A. Muguira, «Tipos de investigación y sus características,» 18 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-investigacion-de-mercados/>.
- [34] OAS, «“Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)” BIOGAS,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>.
- [35] Mercados renovables, «BIOENERGY,» [En línea]. Available: [https://mercadosrenovables-com-ar.translate.google.com/translate/pages/view/5/bioenergy?\\_x\\_tr\\_sch=http&\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=es&\\_x\\_tr\\_hl=es&\\_x\\_tr\\_pto=sge#:~:text=One%20m3%20of%20biogas%20has,the%20efficiency%20of%20the%20generator..](https://mercadosrenovables-com-ar.translate.google.com/translate/pages/view/5/bioenergy?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=One%20m3%20of%20biogas%20has,the%20efficiency%20of%20the%20generator..)
- [36] Herramientas de la producción, «Capacidad de planta,» 15 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://herramientasdelaproduccion.blogspot.com/2015/05/capacidad-es-la-tasa-maxima-de.html>.
- [37] PerMix Sudamérica, «Características de diseño que aumentan la eficiencia y la rentabilidad de la mezcla de productos,» LinkedIn, 6 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/caracter%C3%ADsticas-de-dise%C3%B1o-que-aumentan-la-eficiencia/>.
- [38] Sunat.gob.pe, «SUNAT - Tipo de Cambio Oficial,» 11 Octubre 2024. [En línea]. Available: <https://e-consulta.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tcS01Alias>.
- [39] BCR, «Las tarifas eléctricas en las regiones del Perú,» *Moneda*, n° 196, 2024.
- [40] Diario Gestión, «Osinergrmin anuncia incremento de tarifas eléctricas en todo el Perú,» Gestión, Lima, 2023.
- [41] Gob.cl, «Actualizan Precio Social del Carbono para incentivar la reducción de emisiones de CO2,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.gob.cl/noticias/actualizan-precio->

social-del-carbono-para-incentivar-la-reduccion-de-emisiones-de-co2/#:~:text=El%20nuevo%20valor%2C%20que%20regir%C3%A1,d%C3%B3lares%20por%20tonelada%20de%20CO2..

- [42] CeroCO2, «Cálculo huella de carbono,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.ceroco2.org/soluciones-ceroco2/calculo-huella-de-carbono/que-es-la-huella-de-carbono>.
- [43] Cooperación Alemana, «Catálogo de fichas técnicas de maquinaria para el uso productivo de la energía eléctrica,» [En línea]. Available: [https://cooperacionalemana.pe/GD/811/07\\_UP\\_Lacteos.pdf](https://cooperacionalemana.pe/GD/811/07_UP_Lacteos.pdf).
- [44] Innova Propiedades, «Terreno en venta Encañada, Cajamarca,» 17 Julio 2024. [En línea]. Available: <https://innovapropiedades.com.pe/inmuebles/terreno-en-venta-encanada-cajamarca/>.
- [45] Sbs.gob.pe, «TASA DE INTERÉS PROMEDIO DEL SISTEMA BANCARIO,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPportal/Paginas/TIActivaTipoCreditoEmpresa.aspx?tip=B>.
- [46] Factorenergía, «Energías alternativas: Qué son y qué tipos existen,» 13 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-son-energias-alternativas/>.
- [47] J. M. Bustamante Montesdeoca y C. V. Pérez Rocano, «Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca.,» Cuenca, 2022.
- [48] AliExpress, «Tanque y enfriador de leche de granja, 1500 litros, almacenamiento de nframiento de leche con enfriador de leche refrigerado,» 2023. [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/item/1005006301985886.html> .
- [49] Huancayovende, «Tanque Elevado Azul 900 Lt,» 2023. [En línea]. Available: <https://huancayovende.com/catalog/product/view/id/9988/s/Tanque%20De%20Agua%20Elevado%20Azul%20700%20Lt%20Termoplast/>.
- [50] Alibaba.com, «Mezclador Vertical de plástico con gran capacidad, mezclador de tornillo industrial de plástico de alta calidad,» [En línea]. Available: [https://spanish.alibaba.com/p-detail/Vertical-60687388188.html?spm=a2700.galleryofferlist.p\\_offer.d\\_title.5cc1634dMRRiJQ&s=p](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Vertical-60687388188.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_title.5cc1634dMRRiJQ&s=p)

- [51] Tereolutions.com, «Plantas Biogás y Biodigestores Innovadores,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.tereolutions.com/soluciones-e-ingenieria/>.
- [52] Alibaba.com, «Torre de absorción de gas residual respetuosa con el medio ambiente para purificación de gas residual químico,» 2021. [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Environmental-Friendly-Waste-Gas-Absorption-Tower-1601022977129.html?spm=a2700.7724857.0.0.1b95514bZjCTBx>.
- [53] Alibaba.com, «Ricardo 100Kva 120Kva 150Kva Tipo silencioso abierto Generador sin ruido Tipo de salida Motor Alternador Generador diésel,» 2021. [En línea]. Available: [https://spanish.alibaba.com/p-detail/Ricardo-1600890313788.html?spm=a2700.galleryofferlist.wending\\_right.9.7f034bdbyQx8M3](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Ricardo-1600890313788.html?spm=a2700.galleryofferlist.wending_right.9.7f034bdbyQx8M3).
- [54] D. Esquivel, «Consejos para calcular presupuestos de proyectos periodísticos,» IJNET, 2 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://ijnet.org/es/story/consejos-para-calcular-presupuestos-de-proyectos-period%C3%ADsticos>.
- [55] K. C. Rodriguez Medina, «ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN FERTILIZANTE LÍQUIDO ORGÁNICO A PARTIR DE EXCRETAS DE GANADO DE VACUNO,» Mayo 2022. [En línea]. Available: [https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16201/Rodriguez\\_Estudio-fertilizante-organico.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/16201/Rodriguez_Estudio-fertilizante-organico.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**Anexos****Anexo N° 01: Carta de aceptación de la institución para la ejecución del proyecto****ACTA DE COMPROMISO****Asociación de Productores Siembra Forth Agropecuarios**

Yo EBELIO MENDOZA CHAVES con el N° DNI 42404331, representante de la empresa ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES SIEMBRA FORTH AGROPECUARIOS autorizo a Sol María Larios Dávila con el N° DNI 73859336, estudiante de la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a desarrollar un trabajo de investigación, para el cual me comprometo a brindarle los datos que se requieran y sean necesarios para el desarrollo de dicho trabajo.

Además a esto yo ( ) Autorizo (X) no autorizo que mi nombre y el de la empresa salga en la publicación del trabajo de investigación.

Chiclayo, 27 de octubre del 2023



---

EBELIO MENDOZA CHAVES  
Representante de la empresa

**Fuente: Empresa láctea de la Encañada**

### Anexo N° 02: Demanda energética de la empresa

Máquina	Cantidad	Potencia (W)	Potencia (kW)	Horas diarias de uso	Consumo por hora (kWh)	Consumo por mes (kWh/mes)	Consumo anual (kWh/año)
Pailas	7	745,70	0,746	8	5,966	178,97	15 033,31
Descremadora	4	559,27	0,560	8	4,474	134,23	6 442,85
Tanque de almacenamiento	3	4 101,35	4,101	24	98,432	2 952,98	106 306,99
Sistema de pasteurización	2	745,70	0,746	8	5,966	178,97	4 295,23
Bombillas (iluminación)	8	10	0,01	10	0,100	3,00	288,00
<b>TOTAL</b>							<b>132 366,38</b>

Fuente: Elaboración propia en base a [43]

### Anexo N° 03: Cantidad de leche procesada y suero lácteo generado en la empresa del mes de Agosto 2022 – Julio 2023

Mes	Leche (l)	Suero lácteo (l)
Agosto – 2022	54 293,63	48 864,26
Setiembre – 2022	53 342,92	48 008,63
Octubre – 2022	54 244,33	48 819,90
Noviembre – 2022	53 293,63	47 964,26
Diciembre – 2022	53 392,21	48 052,99
Enero – 2023	54 441,51	48 997,36
Febrero – 2023	53 490,80	48 141,72
Marzo – 2023	54 687,97	49 219,18
Abril – 2023	53 540,09	48 186,08
Mayo – 2023	54 638,68	49 174,81
Junio – 2023	53 365,09	48 028,58
Julio – 2023	53 967,98	48 571,18
<b>TOTAL</b>	<b>646 698,84</b>	<b>582 028,95</b>

Fuente: Información de la empresa

**Anexo N° 04: Proyección de la oferta de lactosuero resultante de la empresa**



Fuente: Elaboración propia

### Anexo N° 05: Factores de decisión de localización de planta

Factores	Situación de la empresa
Cercanía a la materia prima	La planta productora de queso se encontraría situada junto a la planta de producción de biogás; por lo que al posicionarla en un área cercana también se encontrará próximo a la materia prima.
Disponibilidad de terreno	El distrito de Encañada cuenta con amplios terrenos a la venta, además de que por la ubicación de la planta no hay muchos terrenos ocupados.
Costo de terreno	Al intentar terrenos en venta dentro del distrito, se encontró que hay una amplia oferta de terrenos industriales en este. Encontrándose terrenos con áreas de 16 629 m <sup>2</sup> a un precio de S/. 1 830 000,00 [44].
Seguridad de la zona	Se consideró este criterio debido a que es importante tener un terreno que esté aislado de la comunidad, puesto que se trabajará con gases a los que se debe tener cuidado en su manejo por lo que la ubicación actual de la planta cumple con este criterio.
Cercanía al mercado	Como se mencionó anteriormente, el mercado destino del producto será la misma empresa, por lo que situarla lo más cercano a ella ahorrará costos de transporte.
Mano de obra	A pesar de que Encañada es un distrito pequeño, hay suficiente mano de obra trabajando en la industria láctea; lo que indica que habrá personas dispuestas a trabajar en la línea de producción de biogás.

**Fuente: Elaboración propia**

### Anexo N° 06: Índice de consumo

INSUMO	UNIDAD DE COMPRA	ÍNDICE DE CONSUMO
Materiales directos		
Lactosuero	kg	13,40
Excremento bovino	kg	5,74





**Fuente: Elaboración propia**

**Anexo N° 07: Requerimiento de materiales**





Periodo	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
Lactosuero	26 385,62	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94	55 169,94
Excremento bovino	11 308,07	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14	23 644,14
Periodo	1 año		2 año			3 año			4 año		5 año	
Lactosuero	633 254,94		652 252,59			671 820,21			691 974,79		712 734,03	
Excremento bovino	271 393,63		279 535,43			287 921,51			296 559,15		305 455,92	

**Fuente: Elaboración propia**

### Anexo N° 08: Cursograma del proceso de producción de energía eléctrica a partir de lactosuero

Actividad	Símbolo	Cantidad
Origen		2
Operación		4
Transporte		5
Operación combinada		2

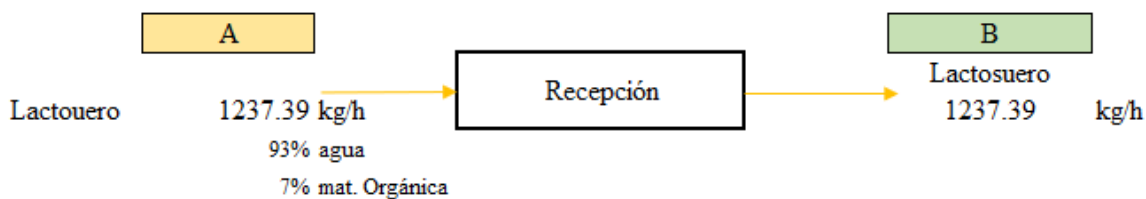
				
Recepcionar lactosuero	X			
Recepcionar estiércol bovino	X			
Transportar a tanque de inspección de lactosuero			X	
Transportar a tanque de inspección de estiércol			X	
Inspeccionar del lactosuero				X
Inspeccionar del estiércol bovino				X
Transportar a mezcladora			X	
Mazclar		X		
Transportar a biodigestor			X	
Biogestión anaeróbica		X		
Purificar biogás		X		
Transportar a turbina			X	
Convertir a energía eléctrica		X		

Fuente: Elaboración propia

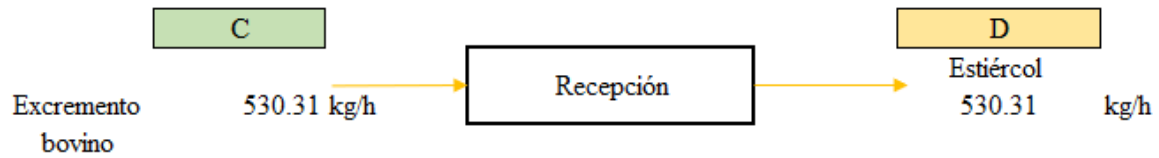
### Anexo N° 09: Balance de masa

Para el balance de masa se ha trabajado con el último año del proyecto; puesto que este es el de mayor capacidad; de forma, que se deben producir mensualmente 4 433,91 m<sup>3</sup> de biogás; lo que si se tiene en cuenta que se trabajan 6 días a la semana por 8 horas da un resultado de 92,37 m<sup>3</sup>/hora de biogás.

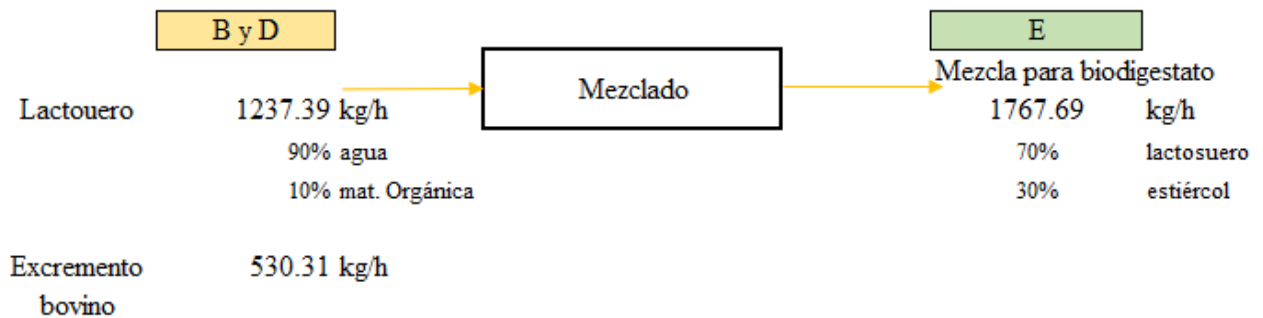
Primero se tiene la etapa de recepción del lactosuero, donde ingresan 1 237,39 kg/h, y el cuál está compuesto por 93% agua y 7% materia orgánica.



Por otro lado, se tiene la etapa de recepción del inóculo, que es el estiércol bovino. Este llega en una proporción de 70:30 con el lactosuero.



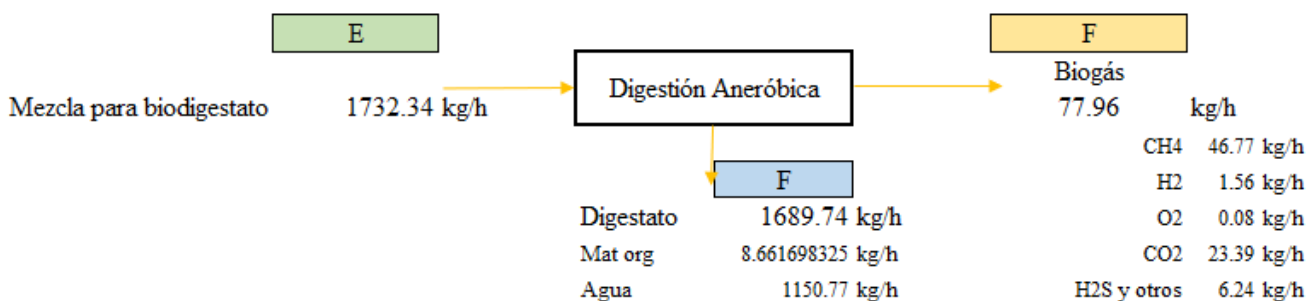
Posteriormente, sigue la etapa de mezclado, donde se debe agregar ambos compuestos en un agitador formando la mezcla para el biodigestor.



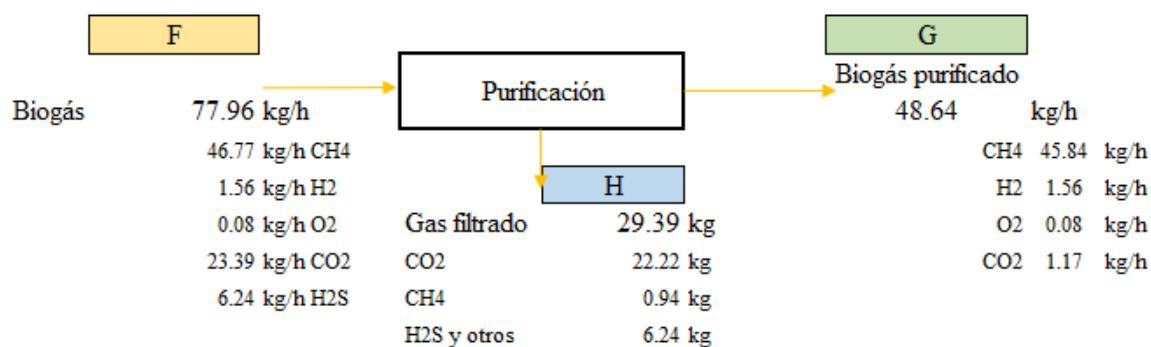
Una vez se tiene la mezcla lista, esta pasará en lotes continuos al biodigestor, del cual saldrá el biogás como producto principal y el digestato como subproducto, este digestato está compuesto en su mayoría por agua, que es la mayor composición del lactosuero. Y el biogás está formado por diferentes compuestos en las siguientes proporciones:

Compuesto	Proporción
CH <sub>4</sub>	60%
H <sub>2</sub>	2%
O <sub>2</sub>	0,10%
CO <sub>2</sub>	30%
H <sub>2</sub> S y otros	8%

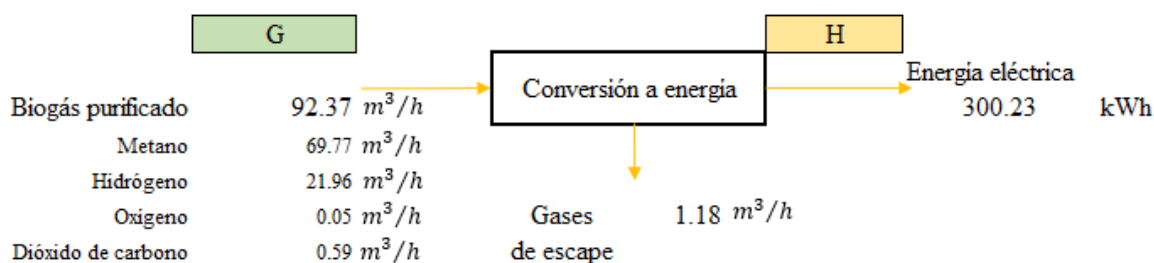
Fuente: [34]



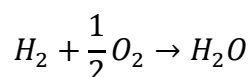
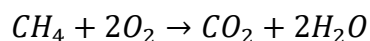
Una vez se tiene el biogás, este pasa por un purificador para remover los gases que no se necesitan, filtrando el CH<sub>4</sub> en un 2%, CO<sub>2</sub> en un 5% H<sub>2</sub>S y el resto de H<sub>2</sub>S y otros gases.



Finalmente, se hace pasar por una turbina de combustión a los compuestos que generan energía del biogás. Donde cada m<sup>3</sup> de metano genera 10 kWh, por cada kg de hidrógeno se obtiene 33,33 kWh y por cada kg de oxígeno se obtiene 0,8 kWh, dando como resultado:



Por otro lado, utilizando las siguientes reacciones:



Como se mencionó previamente, el porcentaje de metano en el biogás varía entre el 50% y el 70%, siendo este uno de los factores fundamentales para el uso de generadores. Se consideró un 60% de metano de manera teórica.

Considerando que la reacción genera 212 kcal/mol de calor, y que 1m<sup>3</sup> equivale a 44,64 mol, obtenemos lo siguiente:

$$212 \frac{kcal}{mol} \times 44,64 \frac{mol}{m^3} = 9\,463,68 \text{ kcal}/m^3$$

Entonces el poder calorífico del biogás es de:

$$9\,463,68 \text{ kcal}/m^3 \times 60\% = 5\,678,21 \text{ kcal}/m^3$$

### Anexo N° 10: Inversión Tangible

<b>Inversión en terreno</b>				
Ítem	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Precio (S/.)		TOTAL
Terreno	160	23,07	S/	3 691,11
<b>TOTAL</b>			<b>S/</b>	<b>3 691,11</b>

<b>Inversión en construcciones</b>				
Ítem	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Precio (S/.)		TOTAL
Pared perimetral	32,08	51,91	S/	1 665,25
Pared	134,7	65,00	S/	8 755,50
Techo aligerado	38,49	110,00	S/	4 233,90
<b>TOTAL</b>			<b>S/</b>	<b>14 654,65</b>

<b>Inversión en maquinaria</b>				
Ítem	Cantidad (und)	Precio (S/.)		TOTAL
Tanque de lactosuero	1	8 056,62	S/	8 056,62
Tanque de estiércol	1	520,00	S/	520,00
Mezclador	1	3 384,90	S/	3 384,90
Biodigestor	1	15 000	S/	85 000,00
Purificador	1	752,20	S/	752,20
Generador de energía	1	3 384,90	S/	3 384,90
<b>TOTAL</b>			<b>S/</b>	<b>101 098,62</b>

<b>Inversión en equipos de producción</b>				
Ítem	Cantidad (und)	Precio (S/.)		TOTAL
Phmetro	2	654,45	S/	1 308,90
Invernadero	1	808,62	S/	808,62
Bombas	3	650	S/	1 950,00
Tuberías	4	56,84	S/	227,36
Llaves	3	85,00	S/	255,00
<b>TOTAL</b>			<b>S/</b>	<b>4 549,88</b>

Fuente: Elaboración propia

### Anexo N° 11: Inversión Intangible

GASTOS PRE OPERATIVOS	Precio
Envío de las maquinarias	S/. 6 500,00
Preparación del suelo	S/. 213,75
Planos	S/. 1 200,00
Comunicaciones	S/. 150,00
Certificado de Defensa Civil	S/. 58,74
Licencia Ambiental	S/. 738,55
Permisos de Construcción	S/. 520,70
Inscripción y registro del proyecto para bono de carbono	S/. 15 000,00
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 34 381,74</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo N° 12: Capital de trabajo**

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
<b><u>INGRESOS</u></b>	S/ 6 815,53	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94
<b>TOTAL INGRESOS</b>	S/ 6 815,53	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94	S/38 761,94
<b><u>EGRESOS</u></b>												
Costos de Producción	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07	S/25 186,07
Gastos Administrativos	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55	S/ 6 801,55
<b>TOTAL EGRESOS</b>	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63	S/31 987,63
SALDO (Déficit/ Superávit)	-S/25 172,10	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31	S/6 774,31
<b>UTILIDAD ACUMULADA</b>	<b>-S/25 172,10</b>	<b>-S/18 397,79</b>	<b>-S/11 623,48</b>	<b>-S/ 4 849,17</b>	<b>S/ 1 925,14</b>	<b>S/ 8 699,45</b>	<b>S/ 15 473,75</b>	<b>S/ 22 248,06</b>	<b>S/ 29 022,37</b>	<b>S/ 35 796,68</b>	<b>S/ 42 570,99</b>	<b>S/ 49 345,30</b>

**Fuente: Elaboración propia**

### Anexo N° 13: Resumen de gastos administrativos

	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año
Sueldos administrativos	S/ 27 306,00	S/ 27 306,00	S/ 27 306,00	S/ 27 306,00	S/ 27 306,00
Consumo de luz eléctrica	S/ 50 312,64	S/ 55 620,57	S/ 61 488,49	S/ 67 975,46	S/ 75 146,80
Capacitación de los operarios	S/ 4 000,00	S/ 4 000,00	S/ 4 000,00	S/ 4 000,00	S/ 4 000,00
<b>GASTOS TOTALES</b>	S/ 81 618,64	S/ 83 128,02	S/ 84 682,68	S/ 86 283,98	S/ 87 933,32

Fuente: Elaboración propia

### Anexo N° 14: Resumen de gastos financieros

	Pre Operativo	1 Año	2 Año	3 Año
Préstamo a largo plazo	S/ 23 208,82	S/ 15 472,54	S/ 7 736,27	S/ -
Intereses		S/ 2 207,16	S/ 1 471,44	S/ 735,72
Amortizaciones		S/ 7 736,27	S/ 7 736,27	S/ 7 736,27
Total gastos financieros (pagos)		S/ 9 943,43	S/ 9 207,71	S/ 8 471,99

#### Tasas de interés de bancos

Banco	Tasa
BBVA	12.41%
BCP	14.46%
BIF	10.82%
Scotiabank	11.16%
Interbank	11.08%
<b>Santander</b>	<b>9.51%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a [45]

### Anexo 15: Cálculo de la Tasa Mínima de Aceptación de Rendimiento (TMAR)

	% Tasa inflacionaria	% de lo que se piensa ganar	Inversión TMAR
Inversión Propia	2,20%	15,00%	17,20%
Socio Estratégico	2,20%	18,00%	20,20%
Financiamiento		9,51%	9,51%
	% de aporte	TMAR	Ponderado
Inversión Propia	0,45	0,17	0,077
Socio Estratégico	0,45	0,20	0,091
Financiamiento	0,10	0,10	0,010
		<b>TMAR GLOBAL</b>	<b>0,178</b>
			<b>17,78%</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 16: Estado de ganancias y pérdidas**

		<b>2024</b>		<b>2025</b>		<b>2026</b>		<b>2027</b>		<b>2028</b>
<b>INGRESOS TOTALES (+)</b>	S/	<b>465 143,24</b>	S/	<b>518 838,55</b>	S/	<b>572 630,59</b>	S/	<b>632 069,21</b>	S/	<b>691 749,39</b>
<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN (-)</b>	S/	<b>302 232,90</b>	S/	<b>306 303,80</b>	S/	<b>310 496,84</b>	S/	<b>314 815,66</b>	S/	<b>319 264,06</b>
<b>UTILIDAD BRUTA (=)</b>	S/	<b>162 910,35</b>	S/	<b>212 534,75</b>	S/	<b>262 133,74</b>	S/	<b>317 253,44</b>	S/	<b>378 485,34</b>
Gastos Administrativos (-)	S/	81 618,64	S/	83 128,02	S/	84 682,68	S/	86 283,98	S/	87 933,32
Depreciación (-)	S/	11 996,81	S/	11 996,81	S/	11 996,81	S/	11 996,81	S/	11 996,81
<b>UTILIDAD OPERATIVA (=)</b>	S/	<b>69 294,89</b>	S/	<b>117 409,92</b>	S/	<b>165 454,25</b>	S/	<b>218 972,76</b>	S/	<b>278 555,21</b>
Gastos de Financiamiento (-)	S/	9 943,43	S/	9 207,71	S/	8 471,99	S/	-	S/	-
<b>UTILIDADES NETAS (=)</b>	S/	<b>59 351,46</b>	S/	<b>108 202,20</b>	S/	<b>156 982,26</b>	S/	<b>218 972,76</b>	S/	<b>278 555,21</b>

Fuente: Elaboración Propia