

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE POSGRADO



**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN  
DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS  
GENERADOS EN LA GRANJA GANADERA “CALUCO”, EN  
EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

PRESENTADO POR:

**ZULMA VERÓNICA CERNA DÍAZ**

**VANESSA JEANNETTE OLIVAR DURÁN**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**MAESTRA EN FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y GESTIÓN  
DE LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**MSc. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO:**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DIRECTOR:**

**MSc. MANUEL ROBERTO MONTEJO SANTOS**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**MAESTRA EN FORMULACIÓN, EVALUACIÓN Y GESTIÓN DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS**

Título:

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA GENERACIÓN  
DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS  
GENERADOS EN LA GRANJA GANADERA "CALUCO",  
EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

Presentado por:

**ZULMA VERÓNICA CERNA DÍAZ**

**VANESSA JEANNETTE OLIVAR DURÁN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor(a):

**MSc. JENNY NATHALY ALVARADO SANDOVAL**

SAN SALVADOR, ABRIL 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**MSc. JENNY NATHALY ALVARADO SANDOVAL**

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres. Quienes son una fuente de motivación y nos animan a alcanzar nuestras metas e ideales, por los valiosos consejos que, de una forma u otra, nos incentivan a buscar la mejora continua en nuestras vidas y por ser nuestros modelos a seguir por sus admirables valores morales.

A nuestra familia. A nuestros hermanos, tíos y primos que nos apoyaron en todo instante, porque nos tuvieron paciencia en nuestros momentos de estrés y brindaron más de una palabra de apoyo cuando más lo necesitábamos, este logro es también de ustedes.

A nuestros amigos y compañeros. Sin dudar se ha aprendido de ustedes el valor de la amistad, la confianza y la lealtad, especialmente a nuestros compañeros más cercanos, Ing. Guillermo Berrios y Arq. Manuel García, con quienes compartimos muchas experiencias inolvidables.

Vanessa y Zulma

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, queremos agradecer a Dios Todopoderoso, por habernos ayudado en este trayecto universitario y por todo el apoyo que nos ha brindado durante toda la vida, esperamos que, con su auxilio podamos aplicar todos los conocimientos adquiridos en nuestras labores futuras y que podamos contar con la sabiduría, humildad, sencillez y modestia que caracterizan a nuestra buena madre, María.

A nuestros padres. Porque sin su guía no hubiéramos elegido el camino que hemos recorrido. Especialmente a María Victoria Díaz, quien ha estado muy pendiente de los avances de esta tesis, motivando, ayudando en pequeñas cosas y dando ánimos para que próximamente este trayecto de tesis llegue a su fin.

Al Ing. Aquiles Trigueros, quien mostró interés en que el tema fuera desarrollado por nosotras y quien proporcionó la información y las fotografías necesarias a fin que pudiéramos avanzar a pesar de las condiciones de pandemia en la que fue desarrollado este proyecto.

Al Ing. Rodrigo Rodas, a quien se le agradece especialmente por el aporte valioso de sus conocimientos y experiencias en el rubro de la energía, definitivamente sin su ayuda tan valiosa no se hubiera alcanzado esta meta.

A nuestros catedráticos y asesora. Gracias por sus enseñanzas y conocimientos que contribuyeron a la formación académica y profesional, gracias por su amistad y por sus consejos.

Vanessa y Zulma.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3	JUSTIFICACIÓN	4
1.4	ANTECEDENTES	5
<b>2</b>	<b>MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>8</b>
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA	8
2.2	ASPECTOS BÁSICOS DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS	11
2.2.1	DESECHOS	11
2.2.2	DESECHOS BIODEGRADABLES	11
2.2.3	BIODIGESTIÓN	12
2.2.4	PROCESO DE BIODIGESTIÓN	12
2.2.5	BIOGÁS	13
2.2.6	ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN METANOGÉNICA	13
2.2.7	FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	15
2.2.8	TIPOS DE BIODIGESTORES	23
2.2.9	USOS DEL BIOGÁS	30
<b>3</b>	<b>ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA</b>	<b>32</b>
3.1	OBJETIVOS	32
3.1.1	OBJETIVO GENERAL	32
3.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32

3.2	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA	32
3.2.1	HISTORIAL DE CONSUMO DE GLP.	32
3.2.2	HISTORIAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	33
3.3	NIVELES DE PRECIOS Y ASPECTOS DE COMERCIALIZACIÓN	36
3.4	ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA	39
3.5	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA	43
<b>4</b>	<b>ESTUDIO TÉCNICO</b>	<b>44</b>
4.1	OBJETIVOS	44
4.1.1	OBJETIVO GENERAL	44
4.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	44
4.2	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	44
4.2.1	MACROLOCALIZACIÓN	45
4.2.2	MICROLOCALIZACIÓN	49
4.3	TAMAÑO DEL PROYECTO	49
4.3.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR	51
4.3.2	CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS GENERALES	53
4.3.3	ESTIMACIÓN TEÓRICA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	57
4.3.4	ESTIMACIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO	59
4.4	INGENIERÍA DEL PROYECTO	61
4.4.1	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR	63
4.4.2	COMPONENTES DEL BIODIGESTOR	65
4.4.3	ORGANIZACIÓN DEL RECURSO HUMANO	70
4.5	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO	73
<b>5</b>	<b>ESTUDIO FINANCIERO Y ECONÓMICO</b>	<b>75</b>
5.1	OBJETIVOS	75



5.2	OBJETIVO GENERAL	75
5.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	75
5.3	INVERSIÓN INICIAL	75
5.3.1	DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL	79
5.4	CRONOGRAMA DE INVERSIÓN	83
5.5	FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO	84
5.6	BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO	85
5.7	COSTOS DE FUNCIONAMIENTO	87
5.8	GASTOS DE OPERACIÓN	91
5.9	TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)	91
5.10	FLUJO DE CAJA	92
5.11	INDICADORES DE RENTABILIDAD	92
5.12	CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO	96
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>97</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>99</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>101</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>112</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de biogás por tipo de residuo animal	16
Tabla 2 Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno	18
Tabla 3. Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos	19
Tabla 4. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	20
Tabla 5. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones	21
Tabla 6. Historial de consumo de energía eléctrica	33
Tabla 7. Promedio mensual de consumo, potencia e importe para los años 2018 y 2019	39
Tabla 8. Valor anual de consumo, potencia e importe para los años 2018 y 2019	40
Tabla 9. Pliego tarifario de empresa distribuidora CLESA para los años 2018 y 2019	42
Tabla 10. División territorial del municipio de Caluco	46
Tabla 11. Método cualitativo de puntos para seleccionar tipo de biodigestor	52
Tabla 12. Cálculo aproximado de biomasa disponible	53
Tabla 13. Cálculos de cargas en función de materias primas	54
Tabla 14. Resultados del dimensionamiento del volumen del biodigestor	57
Tabla 15. Factores de producción de biogás	58
Tabla 16. Resultados de producción de biogás teórico	59
Tabla 17. Equivalencias energéticas del biogás	60
Tabla 18. Consumo típico de biogás para su uso en cocinas	61
Tabla 19. Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares	63
Tabla 20. Dimensiones de biodigestor tubular	63
Tabla 21.: Parámetros de dimensionado de zanjas de biodigestores tubulares	65
Tabla 22. Resultados dimensiones de la zanja	65
Tabla 23. Cronograma de actividades	72
Tabla 24. Principales materiales utilizados para la instalación de cada biodigestor	76
Tabla 25 Inversión en infraestructura	79
Tabla 26 Inversión en instalación de biodigestor	80
Tabla 27 Equipamiento eléctrico	81
Tabla 28 Inversión realizada en mano de obra	81
Tabla 29 Inversión realizada en investigación y capacitaciones	82

Tabla 30 Inversión inicial total del proyecto	82
Tabla 31 Cronograma de inversión	83
Tabla 32 Información del préstamo	84
Tabla 33 Tabla del pago de la deuda	85
Tabla 34 Ahorros de energía térmica para cocción (anuales)	86
Tabla 35 Ahorros de energía eléctrica (anuales)	86
Tabla 36 Ahorros anuales de energía	87
Tabla 37 Depreciación del biodigestor y generador	87
Tabla 38 Costo por funcionamiento (mensual)	88
Tabla 39 Mantenimiento correctivo y preventivo	88
Tabla 40 Mantenimiento predictivo	89
Tabla 41 Costo anual por mantenimiento	90
Tabla 42 Costos totales por funcionamiento	90
Tabla 43 Gastos financieros	91
Tabla 44 Cálculo de la TMAR	91
Tabla 45 Cálculo de la TMAR ponderada	92
Tabla 46 Flujo de caja del proyecto	93
Tabla 47 Indicadores de rentabilidad del proyecto de biodigestión	94
Tabla 48 Cuadro resumen de los indicadores de rentabilidad del proyecto	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2 Biodigestor en industria avícola para generación de biogás	6
Figura 3 Área de alimentación en granja Caluco	9
Figura 4 Establo de granja Caluco	10
Figura 5 Tasa de crecimiento relativo de microorganismos	20
Figura 6 Biodigestor con funcionamiento continuo	24
Figura 7 Biodigestor tipo chino	25
Figura 8 Biodigestor tipo Hindú	25
Figura 9 Biodigestor tipo horizontal	26
Figura 10 Biodigestor tipo Batch	28
Figura 11 Consumos facturados en los años 2018 y 2019	34
Figura 12 Potencia demandada en los años 2018 y 2019	35
Figura 13 Importe en dólares en los años 2018 y 2019	36
Figura 14 Mercado mayorista de electricidad en El Salvador	38
Figura 15 Tendencia de consumo promedio mensual	40
Figura 16 Importe anual de energía eléctrica	41
Figura 17 Tendencia de importe anual	41
Figura 18 Ubicación del municipio de Caluco en el departamento de Sonsonate	45
Figura 19 Ubicación de la planta lechera Caluco, departamento de Sonsonate	50
Figura 20 Biodigestores tubulares de plástico	62
Figura 21 Esquema de una zanja trapezoidal, con sus diferentes parámetros de medida	64
Figura 22 Sistema de biodigestión	66
Figura 23 Sistema de conducción y filtrado de biogás	68
Figura 24 Imagen de referencia del diseño final de los biodigestores	70
Figura 25 Ficha técnica geomembrana de PVC	104
Figura 26 Plano esquemático del sistema de biodigestión de la granja Caluco	105
Figura 27 Recolección de los desechos generados en el establo	108
Figura 28 Ubicación del biodigestor	109

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los desechos en industrias agrícolas siempre ha sido tema de controversia dentro de las distintas empresas salvadoreñas, especialmente debido a las pocas opciones que se plantean para disminuir el impacto social y medioambiental, por lo que es habitual que se recurra a quemas frecuentes de rastrojos que causan gases nocivos al ambiente, disposición de desechos en ríos y quebradas sin ningún procesamiento previo y tratamientos químicos que contaminan aire y suelo, sin considerar opciones que a la larga pueden acarrear beneficios adicionales al tratamiento en sí.

Este es el caso de la Granja “Caluco” situada en el km. 60 de la carretera que conduce de la ciudad de San Salvador a Sonsonate, empresa destinada a la producción y comercialización de productos lácteos, que cuenta con varios clientes y distribuye a la cooperativa ganadera que se encuentra en el departamento de Sonsonate. Para este fin posee 530 cabezas de ganado vacuno, las cuales generan desechos que consisten en heces principalmente, que son arrojadas por lavado a una quebrada cercana.

Lo anterior da lugar al incremento de la carga orgánica, lo que eleva la demanda biológica de oxígeno (DBO) y disminuye el oxígeno disuelto (OD), proporcionando altos niveles de nitrógeno en el agua y vapores malolientes, además de la propagación de enfermedades gastrointestinales y alergias respiratorias especialmente en niños pequeños y adultos mayores.

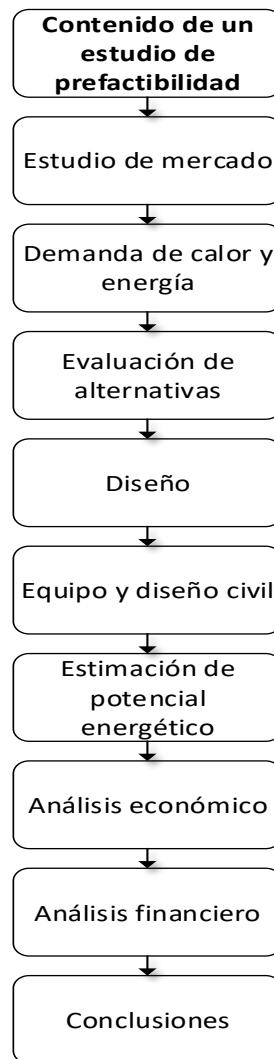
Se ha seleccionado el problema buscando una solución al respecto capaz de dar un tratamiento eficaz a las aguas residuales generadas por la planta lechera y determinar la sostenibilidad de la misma, por lo que se ha considerado a bien la producción de biogás y la instalación de un biodigestor que produzca energía renovable para obtener beneficios económicos y sufragar costos.

La estructura del estudio de prefactibilidad posee cinco secciones, la primera es el establecimiento de alcances y el planteamiento del problema, dónde se definen los objetivos y los antecedentes de la generación de biogás, la segunda sección es el marco teórico que

caracteriza la actividad productiva, además de los aspectos básicos de la generación de biogás. Se realizará un análisis de la demanda y la estimación de la oferta, generando las respectivas conclusiones. El estudio técnico implica localización del biodigestor, el tamaño del proyecto y aspectos de ingeniería. El estudio financiero y económico que implica el establecer la inversión inicial, calcular los costos de producción, VAN, TIR y análisis beneficio/costo con los cuales podremos concluir la viabilidad de la generación de energía eléctrica a partir de las aguas residuales de la granja.

## RESUMEN EJECUTIVO

En la Figura 1 se muestra el contenido del estudio de prefactibilidad realizado de la planta lechera Caluco, situada en el municipio del mismo nombre en el departamento de Sonsonate, el cual, a la fecha se encuentra considerando varias alternativas para el manejo de los residuos generados en la granja, la principal alternativa ha sido la construcción de un biodigestor que no solo solventa la necesidad de tratamiento de los residuos, sino que además proporcione un ahorro a las necesidades energéticas de la granja:



*Figura 1 Contenido del estudio de prefactibilidad*

*Fuente: Elaboración propia*

El objetivo del estudio es resolver las interrogantes relacionadas a la factibilidad técnica, económica y financiera, principalmente debido a que el proyecto sería realizado en una granja pequeña que se dedica a la venta de leche a una cooperativa, y cuenta con varios empleados y jornaleros para su puesta en marcha.

Se tiene que considerar que la disponibilidad de recursos es limitada para la implementación de biodigestores de mayores tecnologías con sistemas de agitación y medición de parámetros automáticos, por lo que se puede optar por sistemas de biodigestión tubulares los cuales son menos costosos y muy efectivos en climas tropicales como el del municipio de Caluco.

A partir del estudio técnico se establecerán las dimensiones de los biodigestores, determinando el volumen de biogás generado en el proceso de metanogénesis. La información proporcionada en la entrevista indicará los requerimientos energéticos de la granja, información que deberá tomarse en cuenta en el análisis de la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, a partir del detalle del análisis económico y financiero, se estimarán los indicadores de rendimiento: TIR, VAN y análisis beneficio costo (B/C) al implementar el proyecto, con lo que se podrá verificar si existe algún beneficio económico por los ahorros energéticos generados por el biodigestor. Independientemente del resultado de los indicadores financieros, es importante realizar este tipo de proyectos para mitigar el impacto provocado por los desechos de los semovientes, así como establecer alternativas limpias para cogeneración y satisfacer de este modo la demanda del recurso energético.



# 1 ALCANCES Y PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El manejo de los residuos provenientes de la granja “Caluco” se vuelve prioridad cuando, al no existir un medio para disponer integralmente de éstos, se genera molestias a la población circundante y se ve afectado el entorno de la granja.

Algunos de los principales problemas que se enfrentan son: la contaminación de la quebrada, de los sitios aledaños a la granja cuando se realiza la limpieza de los corrales y del aire debido al olor de los desechos producidos, etc. Por ello se vuelve necesario implementar un manejo integral de desechos que además de solucionar los problemas mencionados anteriormente se generen beneficios de ello.

Un manejo integral de desechos de este tipo es la instalación de biodigestores anaeróbicos, que al fermentar las excretas del ganado produce lodos utilizados como fertilizante, y por supuesto, obtención de gas metano útil para la producción de calor en cocinas o energía eléctrica a través de un generador.

La granja “Caluco” posee 530 cabezas de ganado, las cuales producen diversos desechos tales como excretas, volviéndose necesario buscar una opción para el manejo de los desechos producidos. En este estudio de prefactibilidad se evaluará la alternativa de implementar el uso de biodigestores; para ello se cuantificarán las cantidades de desechos producidos, se estimarán aspectos técnicos de localización de la granja y así realizar proyecciones de los beneficios que se obtendrían con esta alternativa (cantidad de biogás que podría producirse), además se calcularan indicadores de rendimiento para estimar si el proyecto resultará rentable.

En el marco de lo expresado anteriormente se define el problema de la siguiente manera: A partir de un estudio de prefactibilidad correctamente estructurado, ¿es viable establecer una planta de producción de biogás, con lo cual se pueda solventar el problema medioambiental que se encuentra en la granja ganadera Caluco?.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar un estudio prefactibilidad que determine la viabilidad técnica, financiera y económica para la generación de energía a partir de la producción de biogás en la granja Caluco, y de esta forma garantizar el manejo integral de los desechos producidos por el ganado bovino.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar el marco de referencia que identifique las principales características de los biodigestores como medios para realizar un manejo integral de los desechos en granjas que se dedican al rubro de productos lácteos.
- Determinar si existe demanda potencial y oferta de combustibles fósiles en la granja Caluco, para evaluar si la producción de biogás puede cubrir dichas necesidades y reducir los costos energéticos.
- Desarrollar un estudio técnico en la planta lechera “Caluco”, que aborde aspectos como la localización de la planta, el tamaño del proyecto, ingeniería del proyecto y las conclusiones de viabilidad respectivas.
- Realizar el estudio económico y financiero sobre la rentabilidad de la generación de energía a partir de los desechos orgánicos generados en la granja agrícola.
- Indagar sobre la generación de energía eléctrica en granjas salvadoreñas que han implementado el uso biodigestores para realizar un manejo integral de sus desechos.

- Proponer el mecanismo más adecuado y conveniente para el manejo de los desechos producidos por el ganado de la granja Caluco.
- Establecer indicadores que permitan cuantificar los resultados de la investigación realizada y que contribuyan a establecer conclusiones respecto a otros escenarios existentes.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La granja Caluco se dedica a la venta de productos lácteos a la Cooperativa de Sonsonate y a diversos distribuidores, los desechos agrícolas generados en su mayoría consisten principalmente en las excretas de 530 cabezas de ganado, las cuales se disponen mediante lavado y arrojadas a una quebrada colindante en la zona, lo cual trae diversas repercusiones en la calidad de vida de la población aledaña, lo que va desde la generación de malos olores hasta enfermedades respiratorias y digestivas.

Por lo anterior, se deduce que la problemática de la disposición de los desechos agrícolas de la granja Caluco atrae consecuencias sanitarias, escénicas y ambientales, las que persistirán hasta que se disponga de éstas adecuadamente.

Con el fin de dar tratamiento a los desechos orgánicos, se considera pertinente aplicar la tecnología del biodigestor para obtener biogás utilizando conocimientos sobre energía, asimismo, adquirir un compromiso social al eliminar las implicaciones a la comunidad que se están produciendo por el inadecuado proceso de gestión de desechos y daños al medio ambiente al mismo tiempo.

Por lo que es importante desarrollar un proyecto que no solo podrá ser implementado repetitivamente estableciendo soluciones creativas, productivas, pero sobre todo útiles y que hayan sido exitosamente aplicados en diversas granjas avícolas y bovinas tanto fuera del país, así como los casos que se han presentado en El Salvador que pueden servir como precedentes para la obtención de diversa información.

Las ventajas en la implementación del proyecto, no se limitan únicamente en la creación de mejoras sanitarias, escénicas y ambientales, sino que se espera que al implementarlos se pueda satisfacer las demandas energéticas de la granja, las cuales son de gran importancia para el desarrollo de las actividades diarias que allí se realizan.

Por lo tanto, se considera importante la realización de este proyecto, para mitigar el mal manejo de los desperdicios generados dentro de la granja, disminuyendo los inconvenientes que poseen los vecinos en los alrededores, proporcionándoles una mejor calidad de vida, y adicionalmente, mitigar la necesidad energética interna de la planta.

## 1.4 ANTECEDENTES

A finales del siglo XVIII el físico italiano Alessandro Volta identificó por primera vez el metano ( $\text{CH}_4$ ) como el gas inflamable en las burbujas que emergían de los pantanos, no pudo imaginar la importancia que este gas podría llegar a tener para la sociedad humana en los siglos venideros. El metano alcanzó una especial importancia durante la segunda guerra mundial debido a la escasez de combustibles. Con el fin de la guerra y la fácil disponibilidad de combustibles fósiles, la mayoría de las instalaciones fueron cesando en su funcionamiento, sin embargo, en India, a comienzos de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir de estiércol bovino con el doble propósito del aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante. en China, a inicios de la década de los 70, se ha fomentado la construcción de digestores, mediante programas de ámbito nacional.

En los países industrializados la historia de la tecnología de biodigestión ha sido diferente y el desarrollo ha respondido más bien a motivaciones medioambientales que puramente energéticas, constituyendo un método clásico de estabilización de lodos activos de las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Durante la década de los ochenta, volvió a adquirir cierta importancia como forma de recuperación energética en explotaciones agropecuarias y agroindustriales. Sin embargo, con la disminución de los precios del petróleo, a finales de los años ochenta, el interés por la tecnología de digestión anaeróbica volvió a decaer, aunque en algunos países industrializados se han desarrollado importantes programas de desarrollo de plantas anaeróbicas a escala industrial y doméstica. (Varnero M., 2011).

Según estudios realizados por CEPAL (2019), en El Salvador hay poco más de 100.000 familias en el área rural que no tienen acceso al servicio eléctrico y en general a los servicios básicos como agua potable, salud, educación y oportunidades económicas, por lo que el uso sostenible y eficiente de la leña y residuos agrícolas, así como el aprovechamiento de otras fuentes de biomasa permitirá mejorar la calidad de vida de estas personas y el biogás es una opción que se ha usado en países como la India y China, tal como se ha mencionado

anteriormente, y en países desarrollados tales como los Estados Unidos, así como en los países de la Unión Europea.

Los primeros estudios de biogás en El Salvador datan de la década de 1960. La crisis energética de 1973 reavivó el interés de su uso y las investigaciones han continuado hasta ahora y en años recientes se ha impulsado con el fin de incorporar al biogás en la matriz energética. En la actualidad se produce electricidad a partir del biogás proveniente del relleno sanitario de Nejapa y de las excretas de animales en las empresas Agrícola Ganadera Onza, S.A. de C.V. (Agrícola Onza) y Agrosania, S.A. de C.V. (Agrosania). La capacidad de la planta de generación del relleno sanitario de Nejapa es de 6,3 MW con posibilidad de incrementarse a 10 MW.



*Figura 2 Biodigestor en industria avícola para generación de biogás*

*Fuente: cortesía de Avícola Campestre*

En cuanto a los desechos de animales, la capacidad instalada de generación eléctrica es de 500 kW. Agrícola Onza opera un biodigestor industrial de 2.300 m<sup>3</sup> de capacidad para producir 1.700 m<sup>3</sup>/día de biogás y alimentar una planta de generación de 350 kW para producir 300 kW de energía eléctrica; Agrosania posee uno de 1.200 m<sup>3</sup> de capacidad para una planta de generación de 150 kW. El potencial de expansión eléctrica de los rellenos sanitarios es de 25 MW hacia 2026, en tanto que la capacidad estimada de producción de energía usando estiércol de ganado es de alrededor de 84 MW en total; en el caso de los desechos de cerdos es de 2,4 MW y de los desechos de aves de corral de 96 MW.

En El Salvador existen organizaciones y particulares que producen y utilizan biogás, entre las que se encuentran La Constancia, S.A. de C.V., CAFECO, S.A. de C.V., la Granja San José y la Hacienda Miravalle, ubicadas en los departamentos de San Salvador, La Libertad, Cabañas y Santa Ana respectivamente. Otros proyectos de biodigestión anaeróbica son el de la Granja de los Hermanos Jovel, con una capacidad de almacenamiento de biogás de 717 m<sup>3</sup>, la Avícola Campestre con 6.600 m<sup>3</sup> de capacidad y Agroindustrias San Julián, con 1.200 m<sup>3</sup> de capacidad (CEPAL, 2019).

## **2 MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA**

La planta Caluco, es una pequeña granja que se dedica a la producción lechera, con una población de 530 cabezas de ganado vacuno, cuyo predominio es la raza Jersey, su producción lechera se comercializa localmente, la mayor parte de ella se entrega a la cooperativa ganadera de Sonsonate en un 70% y el 30% restante se comercializa con distribuidores locales para consumo de las poblaciones de Izalco, Caluco y Sonsonate.

La obtención de la producción de leche, se establece en tres jornadas diarias, la primera da inicio a primeras horas de la mañana, a las 5 a.m. una segunda jornada a las 12 del mediodía y la tercera de menor intensidad a partir de las 4.30 p.m. El rendimiento de la producción de leche de cada vaca se mide en botellas (US) y el rendimiento promedio ronda entre 15 botellas diarias. Dado que la actividad de la granja es puramente lechera, el ganado se concentra en un recinto cerrado llamado establo, en donde se realizan las tareas de alimentación diaria y ordeño. La alimentación de cada semoviente está directamente relacionada a la producción de leche, por tanto, es importante proporcionar una dotación de pasto y concentrado para lograr obtener un rendimiento adecuado de cada uno de estos animales.

La edad del animal es un factor que determina la producción de leche, la edad a la cual se obtiene la mayor producción para condiciones tropicales es entre 5-7 años (Pérez et al. 2008). La raza Jersey presenta menor intervalo entre partos y estos ocurren sin problema alguno, lo que se traduce en un mayor número de crías a lo largo de su vida útil, que por lo general pasa de diez años (Tevalán, 2007). La curva de lactancia dura aproximadamente 305 días. El pico de lactancia es definido como el nivel más alto de producción de leche, una vaca alcanza este pico dentro de los primeros 90 días de lactación, o en general, a partir del parto la producción incrementa rápidamente y luego desciende gradualmente hasta completar el ciclo. A medida que pasa el tiempo, las vacas pierden valor monetario y son descartadas, se suelen dejar las terneras que van a ser el reemplazo de las novillas de la finca.





*Figura 3 Área de alimentación en granja Caluco*

*Fuente: Cortesía de Granja Caluco*

De igual forma se tienen que atender los restos de las heces del ganado, las cuales se concentran en un recinto cerrado del establo y representan un problema del manejo integral, sin que esto debiese de afectar el entorno, para que no genere vectores de crianza de parásitos dañinos al mismo ganado, como para las comunidades de habitantes de sus alrededores. En determinados momentos, el volumen de heces en el establo puede llegar a una altura que supera los 40 cm del suelo, lo que de igual forma produce una condición muy indeseable tanto para el ganado, como para los corraleros y demás personal que atienden el ganado.

Actualmente las heces, no cuentan con un manejo integral y son depositadas mediante el lavado de establo y encausadas a una quebrada que corre a las orillas de la propiedad, con las consecuencias de contaminación de aguas de los ríos cuyos afluentes recogen estas excretas.



*Figura 4 Establo de granja Caluco*

*Fuente: Cortesía de Granja Caluco*

Se estima sin la realización de un muestreo de un aproximado de unas 300 lb diarias de heces de res que se destinan a la quebrada. Adicionalmente, se sabe que, en la época de verano, algunos productores de caña requieren de estas excretas como abono orgánico.

Para el manejo adecuado de los desechos generados en la granja ganadera “Caluco”, se plantea lograr un tratamiento de la materia orgánica para convertirla en biogás y poder obtener a la vez, diversos productos con valor agregado.

El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso como una alternativa económica de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos.

## 2.2 ASPECTOS BÁSICOS DE LA GENERACIÓN DE BIOGÁS

### 2.2.1 DESECHOS

La basura son todos los materiales y productos no deseados considerados como desechos y que se necesita eliminar. El manejo de residuos es el término empleado para designar al control humano de recolección, tratamiento y eliminación de los diferentes tipos de residuos. Normalmente se recolecta en lugares previstos para ser canalizada a tiraderos o vertederos, rellenos sanitarios u otro lugar.

### 2.2.2 DESECHOS BIODEGRADABLES

Los residuos biodegradables, tales como los residuos de alimentos y aguas residuales, desaparecen de forma natural gracias al oxígeno o al aire libre, a causa de la descomposición causada por microorganismos. Si no se controla la eliminación de residuos biodegradables, puede causar varios problemas, entre ellos la liberación generalizada de gases de efecto invernadero ( $\text{CH}_4$ ). Entre los métodos utilizados para la disposición de los desechos biodegradables, se encuentran:

- **Incineración:** usualmente no es una opción favorable para el manejo de los desechos sólidos, pues requiere de una inversión considerable de capital y cuidado en la operación y el manejo, para asegurarse de que no queden restos de nada que contamine el ambiente.

Cuando se considere que la incineración es necesaria (por ejemplo, para reducir el volumen de los desechos), se debe hacer, como mínimo, a 1 km del asentamiento, en la dirección del viento, y las cenizas se deben cubrir diariamente con tierra. La incineración doméstica de los desechos caseros puede causar una gran contaminación y constituirse en un riesgo de incendio. (PAHO, 2002)

- **Reciclaje y descomposición en compost:** El compostaje es un proceso biológico termofílico en donde la materia orgánica es descompuesta por una gran cantidad de microorganismos. Bacterias, hongos, protozoos, ácaros, miriápodos, entre otros organismos aeróbicos, digieren los compuestos orgánicos transformándolos en otros más simples (Varela, 2011). Ejemplo de este método es la producción de biogás.
- **Relleno sanitario:** Técnica de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia, ni peligro para la salud y seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación, ni después de terminado del mismo.  
Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola diariamente con capas de material impermeable (preferiblemente) que puede ser tierra (material de cobertura) y compactándola para reducir su volumen. En zonas urbanas por lo general se cuenta con lugares debidamente identificados para la disposición final de basuras, por lo cual se recomienda usar estos lugares si los mismos están disponibles y/o accesibles.

### 2.2.3 BIODIGESTIÓN

Los términos digestivo o digestión, se traducen al proceso de convertir las materias primas en subproductos aprovechables, en este caso gas metano y abono. El principio básico de funcionamiento es comparado al proceso digestivo de los animales, descomponer los alimentos en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino con condiciones controladas de humedad, temperatura y niveles de acidez.

### 2.2.4 PROCESO DE BIODIGESTIÓN

Para convertir desechos en energía utilizando procesos anaeróbicos se requiere de un biodigestor, una cámara donde se desarrollan bacterias anaerobias, que viven en ausencia de oxígeno. Estos microorganismos, al alimentarse de la materia orgánica para poder subsistir,

producen metano (más conocido como gas natural) y dióxido de carbono. El metano es el mismo que se distribuye en tanques de diferentes capacidades por todas las ciudades de El Salvador, pero es biológico, no genera gases de efecto invernadero y es renovable porque, mientras existan residuos orgánicos siempre se podrá obtener biogás.

Las bacterias anaeróbicas se encuentran en el intestino de los mamíferos y se pueden obtener del estiércol de los animales.

### **2.2.5 BIOGÁS**

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas) y otros factores, en un ambiente anaeróbico.

A este gas se le llama también gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita. (Zepeda, 2013).

### **2.2.6 ETAPAS DE LA FERMENTACIÓN METANOGENICA**

Según Varnero (2011), la población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos.

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g.  $H_2O_2$ ). En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. En la digestión

anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo. En el proyecto a realizar, se centrará en la digestión anaeróbica, debido a que la disminución de costos es considerable y ventajosa a comparación de la alternativa aeróbica. La digestión anaeróbica como proceso microbiológico y bioquímico de descomposición anaeróbica de la materia orgánica transcurre en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Para que exista la producción de CH<sub>4</sub> como parte del proceso de degradación anaeróbica no debe haber oxígeno, ya que la falta de oxígeno es benéfica para la producción y desarrollo de las bacterias metalogénicas. A continuación, se detallan las cuatro fases:

- **Fase de Hidrólisis:** Es la primera etapa del proceso de digestión anaeróbica; las enzimas extracelulares producidas por las bacterias fermentativas toman la fracción de materia orgánica formada por especies poliméricas carbonadas complejas de carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, y las fragmentan en moléculas carbonadas más simples con cadenas más cortas de compuestos solubles, que resultarán metabolizadas por las bacterias anaerobias en el interior de las células —ácidos orgánicos, aminoácidos mono y oligosacáridos, polialcoholes (por ejemplo, glucosa, galactosa, arabinosa, glicerol, purinas, piridinas, y aminoácidos)—, con lo que se liberará hidrógeno y dióxido de carbono.

- **Fase de Acidogénesis:** Es la segunda etapa del proceso de digestión anaeróbica y constituye el paso más rápido del proceso desde el punto de vista cinético. En esta etapa los productos obtenidos en la fase de hidrólisis resultan fermentados por bacterias anaeróbicas o facultativas acidogénicas produciendo ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular como el ácido acético, fórmico, propiónico, butírico, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno, entre otros.
- **Fase de Acetogénesis:** La acetogénesis constituye la tercera etapa del proceso de digestión anaeróbica. En la misma, los ácidos grasos volátiles son transformados en sustratos propios de la metanogénesis, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas.
- **Fase de Metanogénesis:** Finalmente, en la última etapa el hidrógeno y el acetato son transformados en una mezcla de metano y dióxido de carbono (metanogénesis). En esta etapa se genera metano y se acumula en la cámara del digester para que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones. Las relaciones en la concentración del CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en el biogás podrán variar dependiendo de varios factores, entre ellos el estado de madurez del biodigestor, los niveles de alimentación de la materia orgánica, el tipo de materia orgánica, entre otros.

### 2.2.7 FACTORES DETERMINANTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

La producción anaeróbica de biogás se ve afectada por temperatura (mesofílica o termofílica), tipos de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas. Varnero (2011) define de esta manera los factores determinantes:

- **Naturaleza y composición bioquímica de materias primas:** Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otros. Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un

cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). En términos generales, los sustratos se diferencian en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO), En la Tabla 1, se aprecian las diferencias en la producción de volumen de biogás a partir de distintas materias primas, dependiendo de la composición bioquímica de cada materia prima, se tendrá una dinámica de producción de biogás.

*Tabla 1 Producción de biogás por tipo de residuo animal*

<b>PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR TIPO DE RESIDUO ANIMAL</b>				
Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m3/kg húmedo	m3/día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

*Fuente: Varnero y Arellano, 2011*

- **Relación carbono/nitrógeno de las materias primas:** El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de



nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso. En términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir,  $C/N = 30/1$ .

Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas. En la Tabla 2 se encuentran los promedios de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en medio rural.

- **Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles:** Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40 a 60% de sólidos totales.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca (Tabla 3)

Tabla 2 Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno

<b>VALORES APROXIMADOS DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO DE ALGUNOS RESIDUOS DISPONIBLES EN EL MEDIO RURAL</b>			
<b>Materiales</b>	<b>% C</b>	<b>% N</b>	<b>C/N</b>
<b>Residuos animales</b>			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
<b>Residuos vegetales</b>			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fuente: Varnero y Arellano, 2011

Tabla 3. Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos

<b>DATOS PROMEDIOS SOBRE EL CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES DE DIVERSOS RESIDUOS</b>	
<b>Materias primas</b>	<b>% Sólidos totales</b>
<b>Residuos animales</b>	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
<b>Residuos vegetales</b>	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Aserrín	74.0 – 80.0

Fuente: Varnero y Arellano, 2011

- Temperatura:** La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos (Tabla 4): psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento ( $\mu_{max}$ ) mayor, conforme aumenta el rango de

temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación (Figura 5).

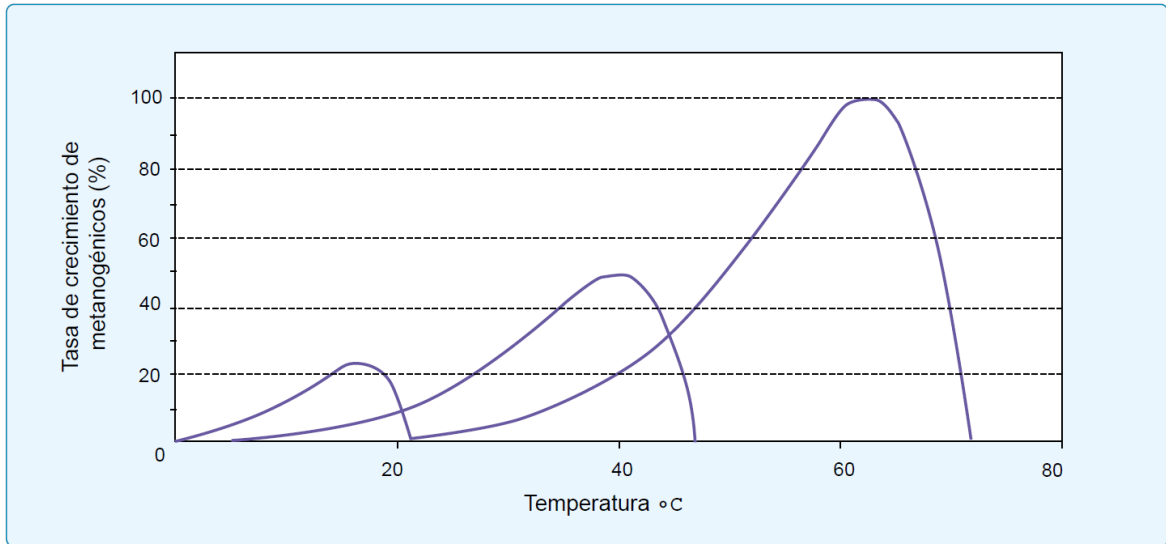


Figura 5 Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicofílicos, mesofílicos y termofílicos

Fuente: Speece (1996)

Tabla 4. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

RANGOS DE TEMPERATURA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA				
Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fuente: Lagrange (1979)

- **Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica:** Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura,

menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional (Tabla 5).

*Tabla 5. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones.*

<b>TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO DE ESTIÉRCOL DE GANADO</b>	
<b>Tiempo de retención hidráulico</b>	<b>Características</b>
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

*Fuente: Varnero y Arellano, 2011*

- **Rangos de pH y alcalinidad:** El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal.

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. En muchos casos, para mantener el pH óptimo en el reactor, es necesaria la suplementación de alcalinidad utilizando químicos

tales como bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de amonio, gas amoniaco, cal, hidróxido de sodio y potasio. Se prefiere el bicarbonato de sodio debido a su alta solubilidad y baja toxicidad.

- **Tóxicos e inhibidores de la metanogénesis:** El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos.

Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. Es interesante destacar que muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios.

- **Promotores de la metanogénesis (inoculantes biológicos):** La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias metanogénicas que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente. De esta forma se alcanza en forma más rápida, la etapa de estabilización, con lo cual, puede incrementarse la producción de biogás por kg de estiércol. Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor es la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad del inóculo, mayor será la eficacia.
- **Agitación – Mezclado:** La agitación aumenta la producción de gas y disminuye el THR, esto es básicamente por cuatro razones: 1. Distribución uniforme de la temperatura y sustrato en el interior del biodigestor. 2. Distribución uniforme de los productos, tanto intermedios como finales. 3. Mayor contacto entre el sustrato y las bacterias, evitando la formación de cúmulos alrededor de las bacterias. 4. Evitar la acumulación de lodo en la parte superior del digestor, también llamada “nata” o “espuma” que dificulta la salida del biogás.

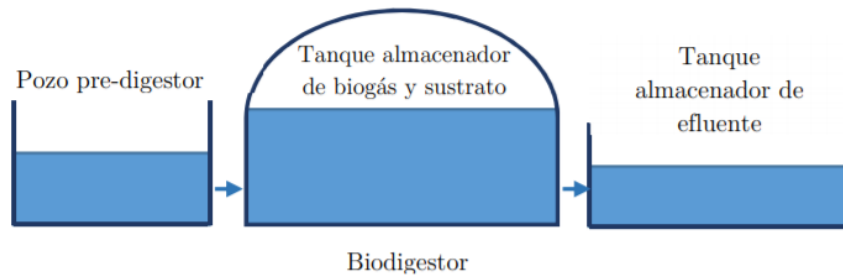
Se distinguen 3 tipos de agitación, estas son: Mecánica: a través de agitadores manuales o con motores eléctricos, Hidráulica: a través de bombas de flujo lento se hace recircular la biomasa, Burbujeo de biogás: se recircula el biogás producido al fondo del biodigestor por medio de cañerías, para producir burbujeo y de esta manera movimiento de la biomasa.

## 2.2.8 TIPOS DE BIODIGESTORES

De acuerdo a Morales y Rodríguez (2017), los biodigestores se pueden clasificar según su tasa de carga orgánica (baja o alta velocidad), por su tipo de mezclado o por su proceso de carga (continuo o discontinuo). Los biodigestores de baja velocidad no cuentan con un sistema de mezclado, ni de control de parámetros como la temperatura y el tiempo de retención de sólidos. Por otro lado, los biodigestores de alta velocidad son diseñados para mantener un alto nivel de carga orgánica, pero se hace necesario mantener las condiciones ambientales adecuadas para mejorar el rendimiento del reactor.

- **Biodigestores continuos y semi continuos:** Estos reactores presentan continuamente el ingreso y salida de materia orgánica, pero se caracterizan por mantener a lo largo del tiempo la misma cantidad de sustrato en su interior. En estos biodigestores, el volumen del sustrato que ingresa (afluente) es igual a la cantidad de sustrato que sale (efluente), tal y como se puede observar en la Figura 6. Algunas de las ventajas en la implementación de este sistema de alimentación es que permite tener una generación elevada y continua de biogás y bioabono. Debido a esto, son utilizados normalmente en grandes industrias que cuentan con una elevada cantidad de residuos que deben o pueden ser tratados de manera anaerobia. En este tipo de sistemas siempre existe la posibilidad de que se extraiga el sustrato que acaba de ingresar llegando a entorpecer el proceso, lo que hace necesario un sistema de alimentación y control que permita mantener niveles adecuados del sustrato al interior del reactor evitando la inhibición del proceso de digestión por lavado de biomasa activa. De igual forma, si el pozo de pre digestión no se encuentra

sellado, los gases generados por la pre digestión de la materia orgánica pueden ser liberados al medio y ocasionar problemas ambientales.



*Figura 6 Biodigestor con funcionamiento continuo*

*Fuente: Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017).*

Por otro lado, existen los biodigestores semi continuos en los cuales inicialmente se hace una gran carga de materia orgánica en el biodigestor y luego es recargado dependiendo del TRH, el volumen del reactor y las necesidades del proceso. Dentro de esta categoría se pueden mencionar diferentes tipos de reactores simples como los de campana fija (tipo chino) o reactores más complejos como los de lecho fluidizado.

- **Biodigestor tipo chino:** Los biodigestores tipo chino son también llamados tipo Campana o de techo fijo. Este tipo de reactores son más propicio en climas fríos y en aplicaciones rurales y cuentan con una sola estructura rígida que debe ser construida bajo tierra, (ver Figura 7). Generalmente, son alimentados con aguas residuales domésticas y agrícolas de forma semi continua, es decir, son alimentados una vez al día, pero con proporciones líquidas similares después de eliminar el sustrato decantado en un tanque de pre digestión.

De igual forma, este tipo de biodigestores no cuentan con un sistema de agitación, lo que hace necesario la remoción de la sedimentación de sólidos suspendidos 2 o 3 veces por año. Sin embargo, se debe asegurar que dentro del reactor quede aproximadamente un quinto de biomasa activa para que esta sirva luego como inóculo. Adicionalmente, este



reactor no cuenta con gasómetro, lo que genera aumentos de presión cuando se acumula mucho biogás. Esta condición hace que el sustrato líquido del reactor se vea forzado a salir del mismo, generando variaciones en la presión del biogás y dificultando su uso directo en sistemas de conversión biogás electricidad. Por otro lado, el biodigestor tipo chino es poco eficiente para producir biogás, pero es muy útil si se quiere obtener bioabono, ya que permite una reducción del 50 % de materia orgánica con tiempos de retención orgánica largos (30 a 60 días).

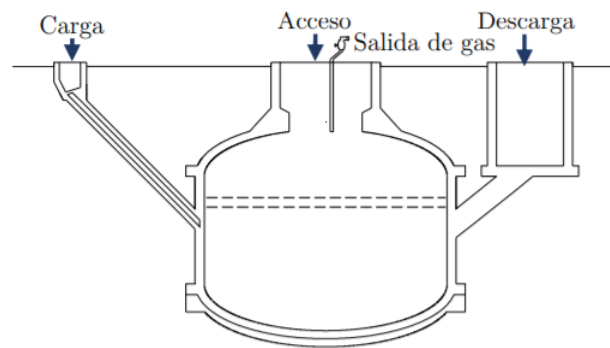


Figura 7 Biodigestor tipo chino

Fuente: Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017).

- Biodigestor tipo hindú:** Los biodigestores tipo hindú son también llamados de campana flotante o techo móvil. Estos son muy similares al tipo chino en su parte inferior, pero en la parte superior cuenta con una campana flotante, la cual se comporta como depósito de gas móvil y permite que la presión sobre el sustrato sea muy baja y constante, (ver Figura 8).

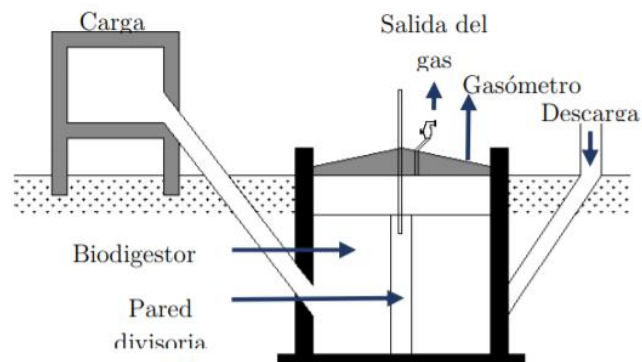
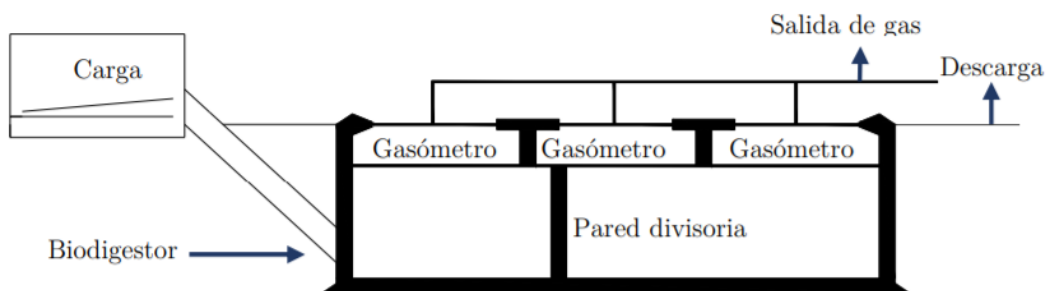


Figura 8 Biodigestor tipo Hindú

*Fuente: Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017).*

Estos biodigestores son cargados por efecto de la gravedad una vez al día. Esta carga provoca movimiento dentro del biodigestor y una salida en igual proporción de efluente. En general, este tipo de biodigestores son verticales y tienen buenas tasas de producción de biogás ya que si presentan condiciones favorables son capaces de generar entre el 50 y el 100% del volumen del reactor.

- **Biodigestores horizontales:** Este tipo de biodigestores, al igual que el tipo chino e hindú, operan en un régimen semi continuo, pero son enterrados de manera horizontal y a poca profundidad. Para su dimensionamiento, se recomienda una relación de largo y ancho entre 5:1 a 8:1, y su sección transversal puede ser circular, cuadrada o triangular (ver Figura 9). Estos biodigestores se usan cuando las excavaciones profundas para reactores tipo chino o hindú son difíciles.



*Figura 9 Biodigestor tipo horizontal*

*Fuente: Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017).*

- **Biodigestores tipo Bolsa:** En la década de los 80 estos biodigestores de estructura flexible fueron construidos con plástico en países como Colombia y Etiopía. Posteriormente, se decidió mejorar el diseño y el plástico fue remplazado por membranas de polietileno que demostraron ser más resistentes y económicas. Estos biodigestores tienen una estructura alargada al igual que los biodigestores horizontales y son diseñados en general para grandes cantidades de sustrato.

Se caracterizan por su bajo costo y por su fácil instalación que reduce los problemas constructivos y la inversión inicial. Estas razones hacen que en países en vías de desarrollo sean preferidos por encima de los tipo chino e hindú. Los biodigestores tipo bolsa son instalados en zanjas o excavaciones y generalmente son resguardados por techos que impiden el ingreso de radiación UV lo que garantiza su vida útil. La misma membrana o bolsa sirve como gasómetro para almacenar el biogás generado, el cual es conducido por tubos de PVC que desembocan en una válvula de seguridad que impide el ingreso del aire.

- **Biodigestores discontinuos o de régimen estacionario:** En los biodigestores de régimen estacionario (también llamados tipo Batch) se realiza una sola carga de materia orgánica. Luego de un periodo determinado de tiempo, cuando el volumen de biomasa ha disminuido y la producción de biogás ha cesado, el reactor es vaciado para iniciar nuevamente con el ciclo de operación. Una de sus condiciones operativas es que deben tener un lugar de almacenamiento para el sustrato de entrada y otro lugar de mayor capacidad para la reserva de gas.

Los ciclos de operación en biodigestores tipo Batch se dividen en cuatro etapas principales:

- ❖ Alimentación: ingreso de afluente (mezcla de agua y materia orgánica).
- ❖ Reacción: se da el proceso de digestión anaerobia.
- ❖ Sedimentación: la biomasa se decanta, y es separada del efluente.
- ❖ Descarga: el efluente es retirado del reactor.

Generalmente, para aumentar la funcionalidad en un sistema de producción de biogás con biodigestores tipo Batch se recomienda instalar más de uno para tenerlos en diferentes etapas de su ciclo de operación, lo que permite mantener casi constante la producción global de biogás a lo largo del tiempo (ver Figura 10). Los biodigestores CSTR y los tipo chino, hindú y bolsa también pueden trabajar en modo Batch.

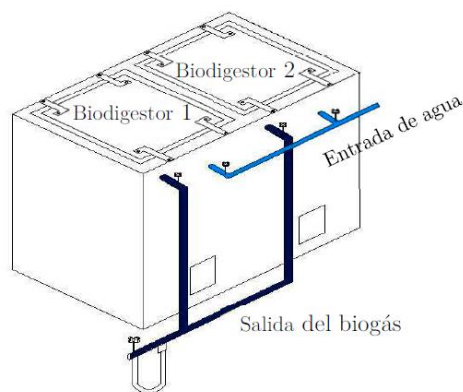


Figura 10 Biodigestor tipo Batch

Fuente: Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017).

Existen otros esquemas de biodigestores que requieren mayor complejidad en su manejo y realizar una inversión inicial mucho mayor a los casos anteriores, entre ellos se encuentran:

- **Biodigestor de mezcla completa o continuamente agitado (CSTR):** Comúnmente llamado CSTR (por sus siglas en inglés continuous stirred tank reactor). Estos biodigestores cuentan con un sistema de agitación que idealmente permite mantener a la mezcla dentro del reactor en condiciones homogéneas, es decir que las concentraciones de las sustancias sean de igual valor en todo el volumen del reactor. Esto facilita el modelamiento del reactor y aumenta la producción de metano, por lo cual es uno de los reactores más usados en el mundo para la digestión anaerobia.
- **Biodigestores de flujo Ascendente:** Son reactores continuos utilizados en su mayoría en plantas de tratamiento de aguas residuales. Este tipo de reactores están compuesto principalmente por un cilindro vertical y un precipitador ubicado en la parte superior del reactor que se usa para separar el líquido dentro del reactor, los sólidos (lodos) y el biogás. El afluente ingresa por la parte inferior del reactor y circula de forma ascendente con la ayuda de un sistema de bombeo exterior, esto hace que el líquido afluente tenga contacto continuo y directo con las poblaciones microbianas que se encuentran sedimentadas en la parte inferior del reactor.

- **Biodigestor o reactor de lecho expandido y fluidizado:** Este tipo de sistemas también son llamados de cultivo adherido ya que cuentan con un sistema interno de pequeño tamaño que sirve como soporte de un cultivo de microorganismos (biomasa activa) en el interior del reactor.
- **Biodigestor de membrana anaerobia:** Estos biodigestores son sistemas que cuentan con una membrana dentro o fuera del reactor. Esta membrana separa y retiene la biomasa de sustrato, permitiendo una operación del sistema con un largo tiempo de retención de sólidos, pero con un TRH muy corto. Lo que hace al sistema más eficiente y estable.

Por otra parte, se han realizado diseños híbridos de biodigestores que combinan los conceptos de los reactores anteriormente descritos. Las configuraciones simples de un solo reactor son llamadas de una etapa y agrupan las anteriormente explicadas, pero existen configuraciones que incluyen ciclos de retroalimentación y recirculación que son conocidas como sistemas de dos o más etapas. El objetivo principal en la aplicación de este tipo de sistemas es disminuir el tiempo de retención de sólidos global del sistema, haciéndolo más eficiente.

### 2.2.9 USOS DEL BIOGÁS

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos.

- **Producción de calor o vapor**

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación.

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H<sub>2</sub>S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C.

- **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad**

Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H<sub>2</sub>S (bajo 100 ppm) y vapor de agua.

Las celdas de combustible se consideran las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones.

- **Combustible para vehículos**

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible.

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. Sin embargo, su difusión está limitada por una serie de problemas:

- a. A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.
- b. La conversión de los motores es costosa (instalación similar a la del gas natural) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- c. Por último, la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

### **3 ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA**

#### **3.1 OBJETIVOS**

##### **3.1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la oferta de las alternativas energéticas y la demanda de combustibles, en el desarrollo la actividad productiva de la granja “Caluco”.

##### **3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer un estudio de la demanda de energía eléctrica y gas licuado de petróleo para determinar las necesidades de combustibles que serán suplidas al instalar el biodigestor.
- Identificar la oferta de combustibles fósiles a través de un análisis de precios y canales de distribución del mercado actual.

#### **3.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA**

##### **3.2.1 HISTORIAL DE CONSUMO DE GLP.**

Para estimar la demanda de energía de la planta lechera “Caluco”, se recolectaron los datos relacionados al consumo energético en un periodo de dos años, se realizó una entrevista al propietario de la granja “Caluco” (Anexo 1), para obtener la información de consumo de combustibles fósiles dentro de la granja, en la cual se determinó que la disponibilidad de recursos para la elaboración, instalación y operación del biodigestor es limitada, además se requiere diariamente del uso de gas licuado de petróleo (aproximadamente dos cilindros de 35 lb) para cocción, entre otras actividades.



### 3.2.2 HISTORIAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A continuación, en la Tabla 6 se presenta el detalle de la facturación mensual en los últimos dos años de la granja Caluco:

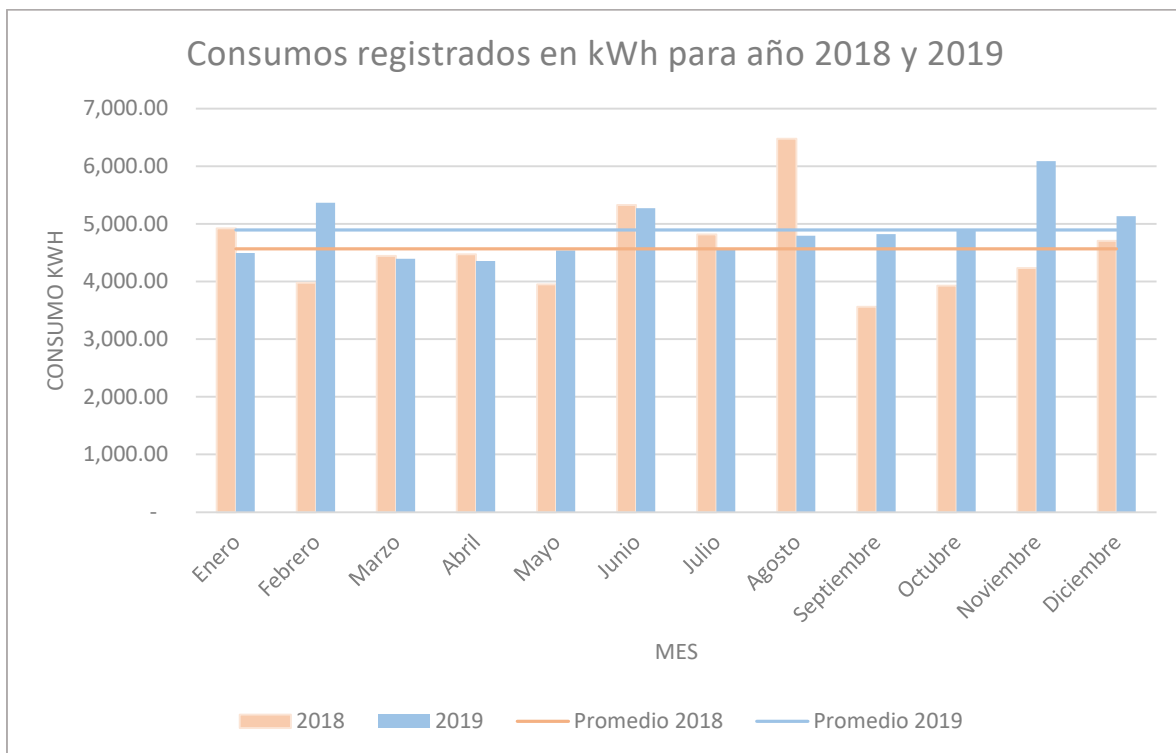
Tabla 6. Historial de consumo de energía eléctrica

<b>HISTORIAL DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>			
<b>Fecha de facturación</b>	<b>Consumo (kWh)</b>	<b>Potencia (KW)</b>	<b>Importe (en dólares)</b>
8/1/2018	4923.36	32.96	\$ 1,446.52
8/2/2018	3977.89	33.64	\$ 1,325.35
9/3/2018	4441.84	28.94	\$ 1,287.34
8/4/2018	4471.79	27.56	\$ 1,260.86
7/5/2018	3950.89	27.33	\$ 1,200.33
10/6/2018	5328.75	29.05	\$ 1,444.31
9/7/2018	4814.65	29.32	\$ 1,373.63
9/8/2018	6478.23	29.8	\$ 1,668.84
8/9/2018	3560.42	28.92	\$ 1,197.50
9/10/2018	3926.12	29.75	\$ 1,272.64
9/11/2018	4232.65	25.74	\$ 1,292.75
9/12/2018	4704.33	25.41	\$ 1,365.33
Importe total año 2018			\$ 16,135.40
10/1/2019	4494.93	24.22	\$ 1,307.96
9/2/2019	5365.11	25.97	\$ 1,494.86
9/3/2019	4395.16	25.89	\$ 1,328.65
9/4/2019	4356.28	24.88	\$ 1,252.57
7/5/2019	4541.12	25.72	\$ 1,300.83
9/6/2019	5273.53	24.09	\$ 1,380.40
9/7/2019	4578.66	27.04	\$ 1,336.51
9/8/2019	4796.79	26.79	\$ 1,390.03

8/9/2019	4823.58	28.39	\$ 1,430.51
9/10/2019	4885.9	24.4	\$ 1,350.70
8/11/2019	6086.55	26.18	\$ 1,524.40
7/12/2019	5132.95	24.99	\$ 1,351.37
Importe total año 2019			\$ 16,448.79

*Fuente: Cortesía propietario de la Granja Caluco*

En la Figura 11 se presentan los consumos en kWh por mes para los años de 2018 y 2019, en ella se observa que en el año 2018 los consumos mas altos se dan en los meses de junio y agosto, en el año 2019 los maximos consumos se dieron en los meses de febrero, junio y noviembre, también se observa un leve incremento en potencia para el año 2019.



*Figura 11 Consumos facturados en los años 2018 y 2019*

*Fuente: Elaboración propia*

De los datos proporcionados por el propietario en la Figura 12 se puede apreciar que en el año 2018 se demandan mayores potencias que en el año 2019 a lo largo del año y en los meses de noviembre y diciembre se presentan las menores variaciones, para el mes de noviembre se tiene una variación de 0.14 kW y en diciembre la variación es de 0.42 kW.

Las mayores variaciones se observan en los meses de enero con una variación de 8.74 kW, febrero con una variación de 7.67 kW, junio con una variación de 4.96 kW y octubre con una variación de 5.35 kW.

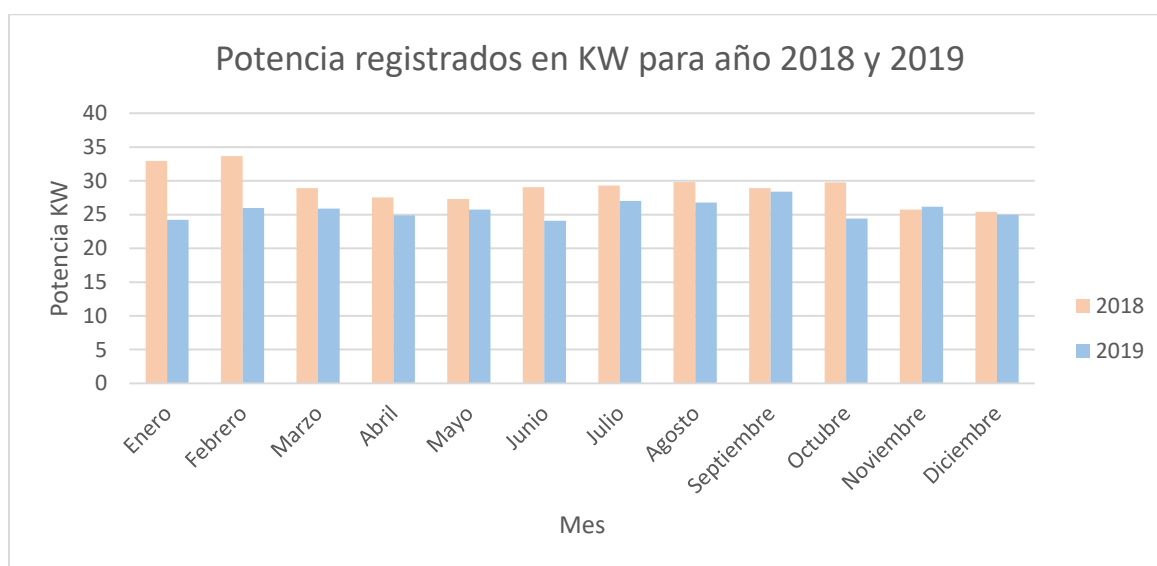


Figura 12 Potencia demandada en los años 2018 y 2019

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 13 se observa el máximo de gasto en el mes de agosto para el año 2018 y en el mes de noviembre para el año 2019, el importe de energía eléctrica consta de tres factores:

- El cargo de comercialización que es un cargo fijo, la granja Caluco por su ubicación está regida por la distribuidora CLESA, de valores obtenidos en la página web de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones se tiene que el cargo fijo para el año 2018 fue de \$0.746324 al mes y para el año 2019 fue de \$0.756658, el aumento de este cargo es imperceptible en la factura.

- El cargo de energía es un cargo variable y depende del consumo de kilowatts hora, este cargo varía a lo largo del año dependiendo si aumenta o disminuye el precio de la electricidad.
- El cargo por distribución es un cargo variable que depende del consumo de potencia en kilowatts, pero su valor se mantiene a lo largo del año, para el año 2018 fue de \$22.322922 por kW y para el año 2019 fue de \$22.516046 por kW.

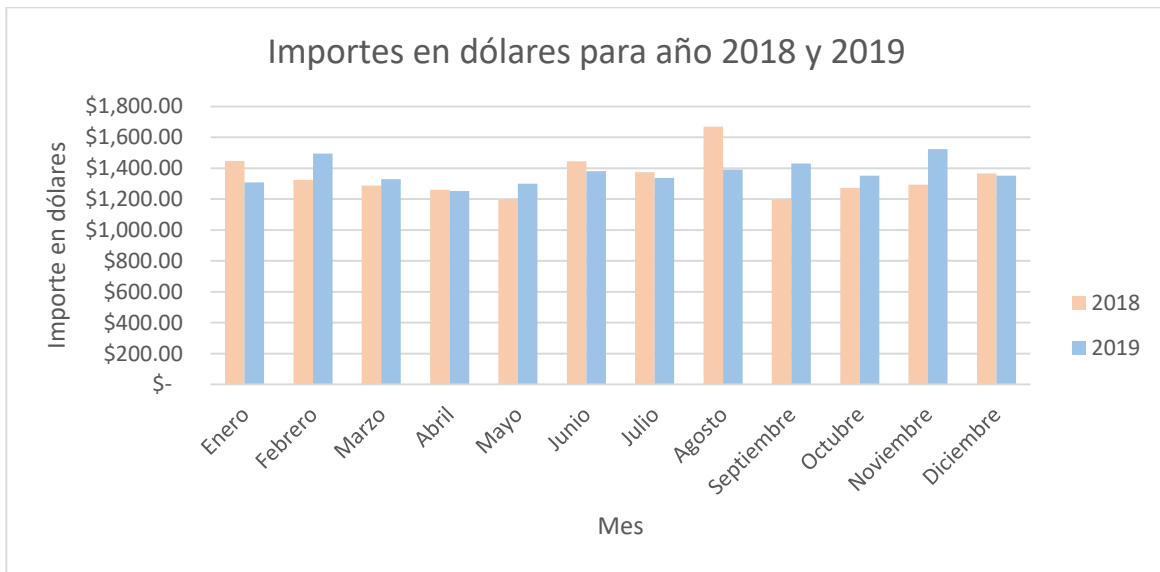


Figura 13 Importe en dólares en los años 2018 y 2019

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 NIVELES DE PRECIOS Y ASPECTOS DE COMERCIALIZACIÓN

#### 3.3.1. ENERGÍA ELÉCTRICA

El sector eléctrico de El Salvador se caracteriza por tener un mercado de electricidad con reglas claras y transparente, cuenta con un ente rector que permite a todos los participantes operar libremente las actividades de generación, transmisión y distribución. este marco normativo garantiza la seguridad jurídica.

El sector eléctrico del país está compuesto por distintos agentes los cuales conjuntamente integran el mercado mayorista de energía. Estos agentes pueden ser públicos

o privados y tienen funciones específicas en el mercado con reglas definidas. Algunos de estos agentes son:

- Empresas generadoras: poseen las centrales de producción de energía eléctrica y la comercializan en forma total o parcial, entre ellas Nejapa Power Company, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa., LaGeo, S.A. de C.V. etc.
- Agente transmisor: Posee las instalaciones destinadas al transporte de energía eléctrica en redes de alto voltaje. Esta es una sola empresa de figura pública-privada, ya que a este nivel de mercado la competencia no es factible. En El Salvador corresponde a La Empresa Transmisora de El Salvador (ETESAL).
- Empresas distribuidoras: estas poseen y operan las instalaciones de distribución. Su finalidad es transformar la energía de un nivel de voltaje mayor a uno adecuado para los usuarios finales. Entre los cuales se encuentran Distribuidora de Electricidad del Sur, S.A. de C.V. y Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador, S.A. de C.V.
- Comercializador de energía eléctrica: estos hacen transacciones de compra venta de energía a nivel regional para satisfacer demandas de otros agentes, y están sujetos al Reglamento del Mercado Regional de Electricidad entre los países centroamericanos. Ejemplo de comercializadoras son Lynx, S.A. de C.V y Grupo Hasgar, S.A. de C.V.
- La Unidad de Transacciones (UT): es la entidad responsable de la operación del Sistema de Transmisión, así como de asegurar la calidad del suministro y administrar el mercado mayorista de energía eléctrica. La UT es un ente privado cuyos accionistas son los generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores y usuarios finales.

En la Figura 14 se muestran las principales compañías distribuidoras que conforman el mercado mayorista del país desde finales de 2015 a la fecha.



Figura 14 Mercado mayorista de electricidad en El Salvador

Fuente: Consejo Nacional de Energía.

### 3.3.2. GAS LICUADO DE PETRÓLEO

Es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. En El Salvador, para el 2021, el Gas Licuado de Petróleo (GLP) es subsidiado por el Estado, el precio de venta de estos productos es establecido de acuerdo al sistema de Precios de Paridad de Importación (PPI).

Los precios de venta son establecidos para un período de 1 mes. El sistema de PPI toma en cuenta el costo de transporte FOB de este producto, el flete de importación y los costos de descarga y operación en puerto y luego se agregan los impuestos aplicables. Los precios varían por los siguientes niveles:

- Nivel estructural. Corresponde a factores de largo plazo como la reducción de las reservas petroleras frente a una demanda cada vez más alta.
- Nivel estacional. Está formado por los ciclos económicos durante un año, por ejemplo, cada vez que llega el invierno en los países del norte, sube la demanda por combustibles destinados a calefacción.
- Nivel coyuntural. Son los factores que le agregan mayor volatilidad al precio y que reflejan la sensibilidad de mercado ante factores inesperados, por ejemplo: cierre de refinerías, huelgas, mal tiempo, especulaciones en el mercado etc. Entre los centros de abastecimiento de GLP en El Salvador pueden mencionar:

**A. Gas Tomza:**

- a) La Libertad: Carretera al puerto, frente a las oficinas del Vice Ministerio de Transporte.
- b) San Salvador: Carretera de oro, km. 5, lote # 10, después del puente Ticsa.
- c) Santa Ana: Chalchuapa.

**B. Tropigas:**

- a) San Salvador: Frente al parqueo de Plaza Mundo, Soyapango.
- b) Santa Ana: Final 25 Calle oriente #3, carretera a Metapán, por Metro centro Santa Ana.
- c) Sonsonate: Frente al Bypass carretera a Izalco.

**C. Zeta Gas:**

- a) San Salvador: Carretera de Oro, después de gasolinera Puma, cerca de restaurante Willis.
- b) San Miguel: Km 135½ adelante de bodegas Bimbo.

### 3.4 ANALISIS DE OFERTA Y DEMANDA

Se calcularon los consumos mensuales promedio y el importe mensual promedio que tuvo la granja Caluco en los años 2018 y 2019 para establecer la demanda de energía eléctrica a la que está sujeta la granja.

*Tabla 7. Promedio mensual de consumo, potencia e importe para los años 2018 y 2019.*

<b>PROMEDIOS MENSUALES DE CONSUMO, POTENCIA E IMPORTE</b>			
<b>Año</b>	<b>Consumo promedio mensual (kWh)</b>	<b>Potencia promedio mensual (kW)</b>	<b>Importe promedio mensual (en dólares)</b>
2018	4567.58	29.04	\$1,344.62
2019	4894.21	25.71	\$1,370.73

*Fuente: Elaboración propia*

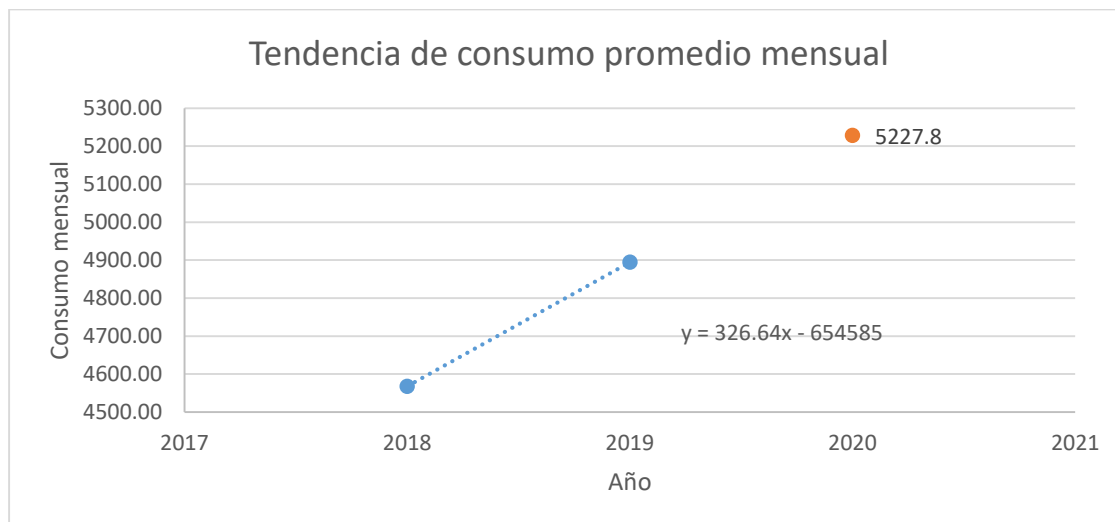


Figura 15 Tendencia de consumo promedio mensual

Fuente: Elaboración propia

En el Figura 15, se muestra una proyección lineal realizada a partir de los promedios de consumos mensuales en la que se obtuvo un valor de consumo mensual promedio para año 2020 de 5227.8 kW h. De llegar a este valor o superarlo, para este 2020, la granja Caluco presentaría al final del año un aumento considerable en el importe anual de energía eléctrica.

Para determinar el gasto anual que realizó la granja en los años 2018 y 2019 se realizó la sumatoria de valores de consumo, potencias e importe mensuales, los resultados se presentan en la Tabla 8. En el Figura 16 podemos observar que en el año 2019 se tuvo una mayor demanda de energía eléctrica, obteniendo así un gasto anual de \$16,448.80 dólares.

Tabla 8. Valor anual de consumo, potencia e importe para los años 2018 y 2019

<b>VALORES ANUALES DE CONSUMO, POTENCIA E IMPORTE</b>			
<b>Año</b>	<b>Consumo anual (kWh)</b>	<b>Potencia anual (kW)</b>	<b>Importe anual (en dólares)</b>
2018	54810.92	348.42	\$16,135.42
2019	58730.56	308.56	\$16,448.80

Fuente: Elaboración propia



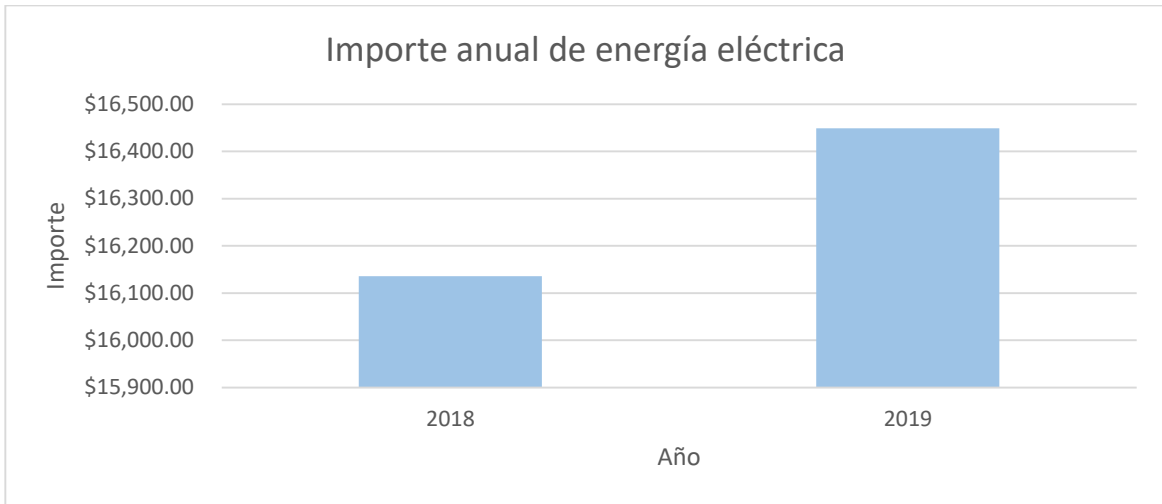


Figura 16 Importe anual de energía eléctrica

Fuente: Elaboración propia

Realizando una proyección lineal para determinar el importe anual de este año 2020 se utilizan los datos de la Tabla 8 y se obtiene lo presentado en el Figura 17, un importe anual proyectado de \$16,754.60.

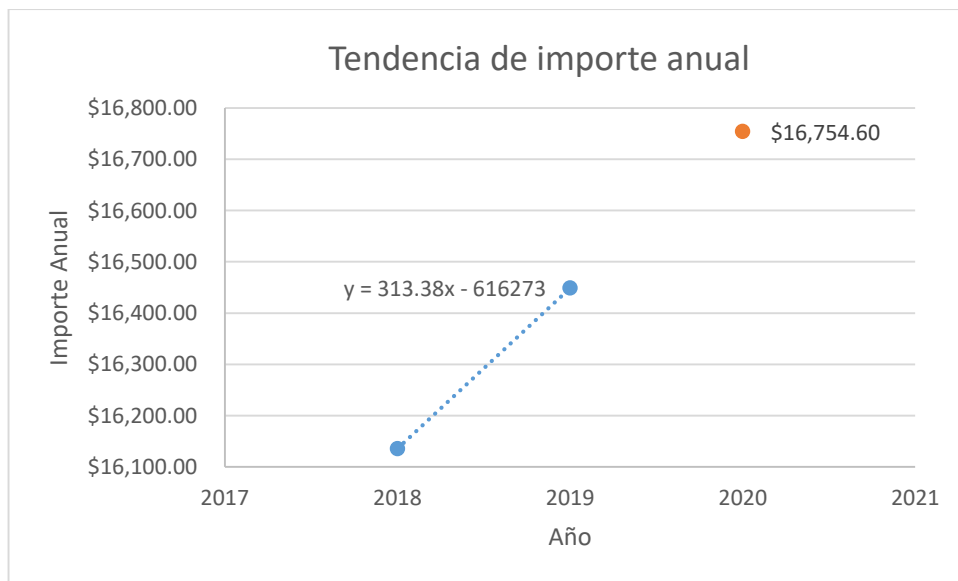


Figura 17 Tendencia de importe anual

Fuente: Elaboración propia

Para los años 2018 y 2019 la energía eléctrica ofrecida por la distribuidora CLESA para mediana demanda ( $10 < kW \leq 50$ ), de baja tensión con medición de potencia es la que se muestra en la Tabla 9, en ella para el año 2018 los cargos de comercialización y distribución se mantuvieron fijos pero los cargos de energía sufrieron cuatro variaciones a lo largo del año. En el año 2019 el cargo de comercialización se mantuvo fijo, mientras que el cargo de energía sufrió cuatro variaciones y el de distribución dos variaciones.

Tabla 9. Pliego tarifario de empresa distribuidora CLESA para los años 2018 y 2019

<b>TARIFAS DE LA EMPRESA DISTRIBUIDORA CLESA</b>	
Año 2018	CLESA
Cargo de comercialización:	
Cargo fijo (US\$/Usuario-mensual)	0.756658
Cargo de energía:	
Cargo variable (US\$/kWh)	0.144213
	0.149206
	0.154807
	0.169495
Cargo de distribución:	
Potencia (US\$/kW-mes)	22.557676
Año 2019	CLESA
Cargo de comercialización:	
Cargo fijo (US\$/Usuario-mensual)	0.756658
Cargo de energía:	
Cargo variable (US\$/kWh)	0.169495
	0.158762
	0.163642
	0.153303
Cargo de distribución:	
Potencia (US\$/kW-mes)	22.516046
	22.557676

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SIGET

### 3.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE OFERTA Y DEMANDA

- Analizando los datos proporcionados y realizando proyecciones lineales se pudo determinar que los consumos de energía eléctrica en los próximos años tendrán una tendencia creciente de 326.64 kW por año.
- En el próximo año, la granja Caluco podría estar cancelando en facturas de energía eléctrica un total anual de \$16,754.60, por lo que la generación de biogás puede aplacar los costos de electricidad.
- El aumento o disminución del importe anual de energía eléctrica de granja Caluco está vinculado directamente al cargo por energía y cargo por distribución, que varían en la factura mensual y dependen del consumo de kWh y la potencia kW, de éstos el más inestable es el cargo por energía ya que sufre cambios trimestralmente. Con la implementación del biodigestor y producción de biogás para generación de energía eléctrica para autoconsumo la granja deberá proyectarse para suplir su propia energía eléctrica, o al menos cubrir parcialmente dicha necesidad.
- Se requiere diariamente dos cilindros de 35 lb de gas licuado de petróleo (GLP) para actividades relacionadas a la cocción de alimentos, lo que implica unos 730 cilindros anuales, lo que significa un estimado de \$9,993 dólares anuales que pueden ahorrarse al realizar la inversión en el biodigestor.
- Por lo tanto, se observa que existe una demanda, tanto de energía eléctrica como gas licuado de petróleo (GLP), por lo que es viable realizar este proyecto de acuerdo al estudio de oferta y demanda realizado.

## **4 ESTUDIO TÉCNICO**

### **4.1 OBJETIVOS**

#### **4.1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar los aspectos técnicos y operativos para la instalación de un biodigestor de acuerdo a las necesidades de la planta lechera “Caluco”.

#### **4.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los cálculos teóricos correspondientes para la determinación de biogás que será generado a partir de la materia prima (desechos agrícolas) producidos por el ganado vacuno de la planta lechera.
- Seleccionar el biodigestor más adecuado para el tratamiento de desechos agrícolas, de acuerdo a parámetros tales como inversión, mantenimiento, tipo de clima etc.
- Identificar y describir el proceso de generación de biogás, asimismo, determinar los suministros e insumos que serán utilizados q para la instalación del biodigestor seleccionado.
- Organizar por medio de un cronograma, los mantenimientos que se recomiendan realizar para el correcto funcionamiento del biodigestor.

### **4.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

En virtud de que en el estudio de mercado se comprobó que los costos energéticos de la granja son elevados, se justifica la instalación de un biodigestor en la granja Caluco y se procederá al estudio y análisis de los factores que intervienen en el estudio técnico. De tal

modo que, para la determinación de la mejor ubicación del proyecto, el estudio de localización se ha subdividido en dos partes: macrolocalización y microlocalización, los cuales se muestran a detalle en los siguientes dos apartados.

### 4.2.1 MACROLOCALIZACIÓN

La granja Caluco se encuentra comprendida en la zona occidental del país, en el departamento de Sonsonate, y en particular, el municipio de Caluco, tal como se muestra en el mapa de Figura 18:



Figura 18 Ubicación del municipio de Caluco en el departamento de Sonsonate

Fuente: A.V. Consultores S.A. de C.V. (2012)

- **ASPECTOS GEOGRÁFICOS**

Caluco cuenta con terrenos alomados, suelos arcillosos y francos, se zonifica climáticamente como sabana tropical caliente o tierra caliente, constituye uno de los 16 municipios que le pertenecen al departamento de Sonsonate, el cual se localiza en la región occidental del país. El municipio de Caluco está limitado al norte por el municipio de Izalco; al noreste por los municipios de Izalco y San Julián; al este por los municipios de San Julián y Cuisnahuat; al sureste por el municipio de Cuisnahuat, al sur por los municipios de Sonsonate y Cuisnahuat; al suroeste por el municipio de Sonsonate; al oeste y noroeste por el Municipio de Izalco. El área del municipio mide 51.43 km<sup>2</sup>, su cabecera municipal es la ciudad de Caluco, situado a 385 m.s.n.m., entre las coordenadas geográficas 13°43 25” LN y 89°39 45 LWG. Y se considera que su área urbana es de 0.75 km<sup>2</sup> y 50.48 km<sup>2</sup> restantes corresponden al área rural. El área urbana de Caluco está compuesta por un solo Barrio (El Centro), y por 11 colonias aledañas. El municipio se encuentra dividido territorialmente de la siguiente forma:

*Tabla 10. División territorial del municipio de Caluco.*

<b>DIVISIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE CALUCO</b>	
Zona urbana	Colonias
1. Barrio El Centro	1. El Palmar
	2. Laderas de Caluco I y II
	3. Callejón Los Rosales
	4. Belén
	5. Loma Linda
	6. Sector Los Lotes
	7. Cuesta Tres Reyes
	8. Santa Emilia
	9. Villas de Caluco I y II
	10. Residencial Río Maya
	11. San José
Zona rural	Caseríos
1. Cantón Las Flores	1. Centro

	2. Jocotillo
	3. Los Abarcas
2. Cantón Cerro Alto	4. Centro
	5. El Corpeño
	6. La Escuela
	7. Los Chules
3. Cantón El Zapote	8. La Trinchera
	9. El Carmen
	10. Las Victorias
	11. El Sifón
4. Cantón Los Gramales	12. Centro
	13. Palestina
	14. Monzón
	15. Los Peñas
	16. Los Escobares
	17. La Finca
5. Cantón Plan de Amayo	18. Centro
	19. Campamento
	20. La Casona
	21. Peñas
6. Cantón El Castaño	22. Centro
	23. La Escuela
	24. Socabón
7. Cantón Suquiat	25. Centro
	26. La Bolsa
	27. Los Mili
	28. El Tanque
	29. Los Pito
8. Cantón Agua Caliente	30. El Torrente
	31. La Chácara
	32. Los Rivas

*Fuente: Alcaldía Municipal de Caluco. Departamento de Catastro 2012.*

- **ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

Según DIGESTYC el último censo realizado en el 2007, registró un total de 9,139 habitantes en el municipio de Caluco, de los cuales el 48.6% son mujeres y el 51.4 % restante son hombres. La población urbana representa el 17.6% y la rural el 82.4%. Con una superficie de 53.11 km<sup>2</sup> y una densidad de población de 178 personas por km<sup>2</sup>, en relación al departamento de Sonsonate es la antepenúltima de las densidades más bajas y su territorio es considerado pequeño en superficie entre los demás municipios del mismo.

La oferta turística del municipio de Caluco se basa en el aspecto de su relevancia turística asociada a la oferta turística de su recurso hídrico y alimentación. Respecto al patrimonio histórico-arquitectónico, las edificaciones no son muy antiguas, pues el pueblo ha sufrido daños de varios terremotos, pero aún conserva elementos de su arquitectura vernácula. Y la edificación con valor patrimonial que constituye la reconstrucción de la iglesia colonial y las ruinas de la antigua parroquia existente.

El turismo es un fuerte potencial que puede crecer más en la zona, siempre y cuando se construya la infraestructura necesaria y se tenga un buen equilibrio en el uso de los recursos naturales, ya que este municipio cuenta con lugares atractivos como el balneario Shutecat, Entre Ríos, el Tanque de Comalapa, Cueva del Amor, ruinas de la Iglesia Antigua, Salto de las Victorias, Divisadero del Cerro Alto, entre otros.

- **ASPECTOS DE INFRAESTRUCTURA**

En relación al servicio de energía eléctrica, ésta cubre la mayor parte del municipio de Caluco, reduciendo su cobertura en las zonas de más difícil acceso y donde las comunidades se encuentren más dispersas. El servicio de telecomunicaciones en el municipio de Caluco es brindado únicamente en el área urbana, lo que implica que los habitantes del área rural no tengan acceso a este servicio. No se obtuvieron datos registrados, pero se evidencia que la mayoría de pobladores hacen uso de telefonía celular.



- **ASPECTOS INSTITUCIONALES**

La municipalidad cuenta con una estructura organizativa, manuales de organización, funciones y descripción de puestos, han implementado sistemas mecanizados en el área de Contabilidad y Cuentas Corrientes con el objeto de procurar cumplir y satisfacer las directrices de bienestar social de los habitantes de Caluco.

#### **4.2.2 MICROLOCALIZACIÓN**

Para la instalación de un biodigestor en el cual se realiza un tratamiento para los desechos de la granja, se dispone de un terreno de 1118 m<sup>2</sup> (43 m ancho x 26 m largo) que se encuentra ubicado en la zona oriente del municipio de Caluco, Cantón El Zapote, Caserío El Carmen, via Caluco- El Zapote, carretera que conduce de la capital a la ciudad de Sonsonate en el km 60.

El entorno donde se encuentra localizado el terreno, cuenta con el espacio y los servicios públicos necesarios como son los servicios de agua entubada, electricidad, drenaje y acceso a la telefonía pública, dichos factores son importantes para la ejecución del proyecto debido a que se requiere de agua para realizar la mezcla de la materia prima y encauzarla al biodigestor seleccionado. La localización del terreno se puede apreciar mejor en el croquis de la Figura 19.

#### **4.3 TAMAÑO DEL PROYECTO**

La determinación y análisis de este punto es importante para la posterior realización y evaluación económica del proyecto, porque permitirá en primera estancia llevar a cabo una aproximación de costos involucrados en las inversiones necesarias para la realización y puesta en marcha, que conllevan un grado óptimo de aprovechamiento conforme a lo requerido por un tamaño y capacidad determinados.



*Figura 19 Ubicación de la planta lechera Caluco, departamento de Sonsonate*

*Fuente: Elaboración propia*

El tamaño y capacidad de este proyecto en particular, se debe a dos aspectos principalmente: el tipo de biodigestor que será instalado y al volumen requerido que determinará las dimensiones del mismo. Por tanto, como previamente se señaló, el espacio requerido deberá ajustarse al tamaño del terreno de que se dispone para su instalación (en 1118 m<sup>2</sup>), la disponibilidad en el suministro de excretas y mano de obra no representan factores que limiten o condicionen el proyecto; no obstante, en cuanto al recurso financiero, se planteó en la entrevista que debe considerarse como uno de los factores limitantes no obstante ésta no debe afectar la calidad del proyecto.

### 4.3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE BIODIGESTOR

El objetivo general en este punto es determinar el tipo de biodigestor más adecuado, de las alternativas disponibles (biodigestor tipo chino, biodigestor tipo hindú y biodigestor horizontal de tipo bolsa) utilizando el método cualitativo por puntos, el cual consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes biodigestores y permite ponderar factores de preferencia para tomar la decisión. Se aplicará el procedimiento sugerido por Baca Urbina (2013) para jerarquizar los factores cualitativos:

- **Desarrollar una lista de factores relevantes.**

Al realizar un análisis, se consideran factores relevantes:

- a. Menor costo total del biodigestor.
- b. Adecuado para clima tropical y área rural.
- c. Eficiencia en la producción de biogás.
- d. Menor costo de mantenimiento preventivo y correctivo.
- e. Menor requerimiento de mano de obra especializada.
- f. Vida útil del biodigestor.

- **Asignar un peso a cada factor para indicar su importancia relativa**

Los pesos deben sumar 1.00 y su valor dependerá de los criterios e intereses del proyecto, se ha seleccionado un peso de 0.33 al factor menor costo total del biodigestor, 0.23 a adecuado para clima tropical y área rural, 0.12 a la eficiencia en la producción de biogás, 0.11 al menor costo de mantenimiento preventivo y correctivo, 0.11 al menor requerimiento de mano de obra especializada y 0.1 a la vida útil del biodigestor. Asimismo, se asignó una escala común a cada factor de 0 a 10 y calificó cada factor para multiplicarlo por el peso correspondiente.

- **Sumar la puntuación de cada sitio y elegir el de máxima puntuación.**

La calificación asignada a cada biodigestor y su calificación ponderación, se encuentran en la siguiente tabla. El total de las calificaciones se encuentra en negrita:

Tabla 11. Método cualitativo de puntos para seleccionar tipo de biodigestor.

<b>MÉTODO CUALITATIVO DE PUNTOS PARA SELECCIONAR TIPO DE BIODIGESTOR</b>							
Tipo de biodigestor:		Biodigestor tipo chino		Biodigestor tipo hindú		Biodigestor tubular/ horizontal	
Factor relevante	Peso asignado	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
1. Menor costo total del biodigestor.	0.33	7	2.31	4	1.32	9	2.97
2. Adecuado para clima tropical y área rural.	0.23	3	0.69	8	1.84	9	2.07
3. Eficiencia en la producción de biogás.	0.12	8	0.96	8	0.96	5	0.6
4. Menor costo de mantenimiento preventivo y correctivo.	0.11	7	0.77	6	0.66	8	0.88
5. Menor requerimiento de mano de obra especializada.	0.11	7	0.77	6	0.66	8	0.88
6. Vida útil del biodigestor.	0.1	9	0.9	9	0.9	4	0.4
Total	1.00		6.4		6.34		<b>7.8</b>

Fuente: Elaboración propia

Según la metodología seleccionada, el tipo de biodigestor más adecuado es el biodigestor horizontal del tipo tubular, el cual acumuló 7.8 puntos, mayor que las alternativas de biodigestores, éste es frecuentemente utilizado en áreas rurales de clima tropical y su instalación, manejo y mantenimiento no requieren de métodos especializados de gran complejidad, no obstante, su vida útil y eficiencia es levemente menor al biodigestor de tipo chino o hindú.

### 4.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS GENERALES

De acuerdo a la entrevista realizada al propietario de la granja, se poseen 530 cabezas de ganado tipo Jersey, subdivididas en 504 vacas, 6 sementales y 20 terneros, por lo que se deberá realizar el dimensionamiento del biodigestor tomando en consideración el ganado a adquirir, se empleará la metodología descrita en la Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores (Martí Herrero, 2019), para ello será necesario conocer varios datos y efectuar los siguientes cálculos:

- A. Cantidad de biomasa disponible (Q) en kg/día
- B. Cálculo de cantidad de agua para la mezcla (mH<sub>2</sub>O) en kg/día
- C. Cantidad de carga diaria de biomasa (Q diaria)
- D. Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)
- E. Cálculo del volumen del biodigestor

#### A. Cantidad de biomasa disponible (Q)

En este paso se asume que la producción de estiércol es igual al 8% del peso del animal y que la cantidad de estiércol que se puede recoger es un 17% del total producido a lo largo del día, debido a que para el cálculo de la producción de biogás no se debe considerar las aguas que se utilizan en el lavado de pisos. Los resultados se presentan en la Tabla 12: Tabla 12

Tabla 12. Cálculo aproximado de biomasa disponible.

<b>CÁLCULO APROXIMADO DE BIOMASA DISPONIBLE</b>			
Peso aproximado (kg)	Peso aproximado*0.08	# Cantidad de ganado	Producción estimada de estiércol (kg/día)
480	38.4	504	19353.6
550	44.0	6	264.0
410	32.8	20	656.0
Total estimado diario			20274.6

Fuente: Elaboración propia

Calculando la cantidad de estiércol que se puede recoger, el que corresponde a un 17% del total producido a lo largo del día:

$$\text{Cantidad de biomasa disponible (Q)} = \text{Producción estimada de estiércol} * 0.17$$

$$Q = 20274.6 \text{ kg/día} * 0.17$$

$$Q = 3446.5 \text{ kg/día}$$

### **B. Cálculo de cantidad de agua para la mezcla (MH<sub>2</sub>O)**

Las excretas de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10% de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10% de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. En función de la materia prima, la carga recomendada de estiércol: agua para excretas de tipo bovino es una relación 1:1. El tamaño del digestor está en función de las cargas diarias y del periodo óptimo de fermentación. Este último parámetro dependerá de la temperatura media de cada región, así como de las variaciones de temperaturas diarias y estacionales. (Varnero, 2011).

*Tabla 13. Cálculos de cargas en función de materias primas.*

<b>CARGA EN FUNCIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b>	
<b>Tipo animal</b>	<b>Estiércol:agua</b>
Bovino	1:1
Porcino	1:3
Aves	1:3

*Fuente: Varnero (2011)*

$$\text{MH}_2\text{O} = 3446.5 \text{ L/día}$$

### **C. Cantidad de carga diaria de biomasa (Q diaria)**

Cuando el contenido de sólidos es superior al porcentaje establecido normalmente y se agrega agua, la cantidad de sustrato que ingresará al biodigestor está dada por la suma del volumen de agua para la mezcla (MH<sub>2</sub>O) y la biomasa disponible (Q):

$$Q \text{ diaria} = Q + MH_2O$$

$$Q \text{ diaria} = 6893 \text{ L}$$

### **D. Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)**

En función de la región, el tiempo de retención hidráulica recomendado para lugares con climas tropicales es de 30 días. (ver Tabla 5). (Varnero, 2011).

### **E. Cálculo del volumen del biodigestor**

Es recomendable que en el volumen de diseño se seleccione un 20% más de lo calculado con el objeto de tener un margen de seguridad:

### **Volumen del líquido**

La fórmula para el cálculo del volumen del líquido es la siguiente:

$$VL = Q_{\text{diaria}} * TRH + (Q_{\text{diaria}} * TRH * 0.2)$$

$$VL = 6893 \text{ L} * 30 + (6893 \text{ L} * 30 * 0.2)$$

$$VL = 248148 \text{ L}$$

Dónde:

- VL= Volumen líquido (*litros*); Q diaria= cantidad de biomasa diaria; TRH= Tiempo de retención hidráulica (días).

## Volumen de gas

Para la campana de gas se da un porcentaje de 25% lo que significa un tercio del volumen Líquido, se tiene la siguiente ecuación.

$$\text{Volumen de gas (Vg)} = \frac{\text{Volumen de líquido (VL)}}{3}$$

$$Vg = \frac{248148 \text{ L}}{3}$$

$$Vg = 82716 \text{ L}$$

## Volumen total del biodigestor

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa, tomando en consideración el factor de conversión  $1\text{m}^3 = 1000$  litros.

$$\text{Volumen total del biodigestor (VdT)} = \frac{VL + Vg}{1000}$$

$$VdT = \frac{248148 \text{ L} + 82716 \text{ L}}{1000}$$

$$VdT = 330.86 \text{ m}^3$$

Dónde:

- $VdT$  = Volumen total del biodigestor ( $\text{m}^3$ );  $VL$  = Volumen del líquido (*litros*);  $Vg$  = Volumen gaseoso (*litros*).

De acuerdo con la información anterior y aplicando las ecuaciones mencionadas en la metodología, se obtiene los resultados proyectados en la Tabla 14



Tabla 14. Resultados del dimensionamiento del volumen del biodigestor.

<b>RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL VOLUMEN DEL BIODIGESTOR</b>		
Parámetros calculados	Unidades	Resultados
Cantidad de biomasa disponible (Q)	kg/día	3446.5
Cantidad de agua para la mezcla (MH20)	litros	3446.5
Cantidad de carga diaria de biomasa (Qdiaria)	litros	6893
Cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH)	días	30
Cálculo del volumen Líquido (VL)	litros	248148
Cálculo del volumen del gas (Vg)	litros	82716
Cálculo del volumen total del biodigestor (VTd)	m <sup>3</sup>	330.86

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3.3 ESTIMACIÓN TEÓRICA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para estimar la producción de biogás diaria, se deben tomar en cuenta 2 aspectos, estos son la cantidad de sólidos totales y la cantidad de sólidos volátiles.

#### ST: Sólidos totales (kg/m<sup>3</sup>)

De forma general, el estiércol fresco tiene entorno a un 17% de sólidos totales. El rango puede variar de 13 a 20 %. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco, y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor. Para calcular los sólidos totales que introducimos diariamente en un biodigestor, basta con multiplicar la carga de estiércol por 0.17 y se mide en kilogramos.

$$ST = Q \cdot \frac{0.17}{VL}$$

$$ST = 3446.5 \cdot \frac{0.17}{248.148}$$

$$ST = 2.36 \text{ kg/m}^3$$

Dónde:

- ST= Cantidad de sólidos totales en la biomasa disponible ( $kg/m^3$ ); Q= Biomasa disponible; VL = volumen del líquido ( $m^3$ ).

### **SV: Sólidos volátiles (Kg/m<sup>3</sup> día)**

Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa. Su valor corresponde aproximadamente, y de forma general, al 77% del sólido total introducido por día.

$$SV = ST \cdot 0.77$$

$$SV = 1.82 \text{ kg/m}^3/\text{día}$$

Dónde:

- ST= Cantidad de sólidos totales en la biomasa disponible ( $kg/m^3$ ).

### **Pbiogás: Producción de biogás (m<sup>3</sup>/día)**

Conocidos los sólidos volátiles, dependiendo del tipo de estiércol que se esté empleando, la producción de biogás será mayor o menor, el factor de producción para ganado bovino es de 0.27:

*Tabla 15. Factores de producción de biogás.*

<b>FACTORES DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b>		
Tipo de animal	Factor de producción	Factor general
Cerdo	0.25-0.50	0.39
Bovino	0.25-0.30	0.27

*Fuente: J. M. Herrero (2019)*

La mezcla de estiércol con agua en el interior del biodigestor, en ausencia de aire, producirá biogás. Esta producción no es constante, y es un proceso que dura, más o menos, el tiempo de retención estimado según la temperatura de trabajo. De esta forma, un kilo de estiércol irá produciendo biogás de poco a poco a lo largo del tiempo de retención al que esté sometido.

$$P_{\text{biogás}} = (F \cdot SV) \cdot VL$$

$$P_{\text{biogás}} = (0.27 \cdot 1.82) \cdot 248.148$$

$$P_{\text{biogás}} = 121.81 \text{ m}^3/\text{día}$$

Dónde:

- P biogás= Gas producido en ( $\text{m}^3/\text{día}$ ); SV = Masa volátil de materia orgánica del estiércol según la especie ( $\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ ); F = Factor general de producción aproximada de biogás (ver en la
- Tabla 15 ); VL= Volumen del líquido ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

Tabla 16. Resultados de producción de biogás teórico.

<b>RESULTADOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS TEÓRICO</b>		
Parámetros calculados	Unidades	Resultados
Sólidos totales (ST)	$\text{kg}/\text{m}^3$	2.36
Sólidos volátiles (SV)	$\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$	1.82
Producción de biogás ( $P_{\text{biogás}}$ )	$\text{m}^3/\text{día}$	121.81

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4 ESTIMACIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO

El uso más eficiente que se puede dar al biogás es aprovecharlo a nivel térmico, como combustible en la cocina, para calentar agua o espacios (como establos) (Herrero, 2019). Después, el siguiente uso de biogás más eficiente es en aplicaciones mecánicas (picadoras de pasto o bombas de agua) y finalmente en la producción de electricidad.

Tabla 17. Equivalencias energéticas del biogás.

<b>EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS</b>	
1m <sup>3</sup> de biogás equivale a:	
Madera	1.3 kg
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas natural	0.76 m <sup>3</sup>
Carbón	0.7 kg
Electricidad	2.2 kwh
Gas GLP	0.5 kg

Fuente: J. M. Herrero (2008)

Por lo tanto, se cubrirá inicialmente la demanda de los requerimientos energéticos en cocinas para mayor aprovechamiento del biogás. En la granja “Caluco”, se tiene una demanda constante de 2 cilindros de 35 libras de GLP (70 libras), el cual sirve para el funcionamiento de cocinas domésticas e industriales. Utilizando en la Tabla 17, calculamos los requerimientos de biogás para 70 libras o 31.75 kg de GLP:

$$\text{Biogás para cocinas} = \frac{31.75 \text{ kg de GLP}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de biogás}}{0.5 \text{ kg de GLP}}$$

$$\text{Biogás para cocinas} = 63.50 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

Lo anterior, se puede representar en la Tabla 18, considerando el valor aproximado con las equivalencias en metros cúbicos de biogás por hora (m<sup>3</sup>/h) para el consumo en estos electrodomésticos proporcionada en la Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores tubulares (Herrero, 2019):

Tabla 18. Consumo típico de biogás para su uso en cocinas.

CONSUMO TÍPICO DE BIOGÁS PARA SU USO EN COCINAS				
Uso biogás	Cantidad	Horas	Consumo de biogás por hora (m <sup>3</sup> /h)	Consumo diario (m <sup>3</sup> )
Cocina doméstica	8	9.6	0.30	23.0
Cocina industrial	6	15	0.45	40.5
Total				63.5

Fuente: Elaboración propia

De los 121.81 m<sup>3</sup> producidos diariamente, quedan disponibles para generación de energía eléctrica 58.31 m<sup>3</sup> diarios para producción de electricidad. Utilizando nuevamente la Tabla 17 dónde se encuentran las equivalencias energéticas del biogás con otros combustibles o energía recuperable de forma eléctrica obtenemos que 1 m<sup>3</sup> equivale a 2.2 kWh, por lo que, para 58.31 m<sup>3</sup> diarios, se calculará la potencia de la planta de generación eléctrica:

$$Potencia = \frac{58.31 \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{2.2 \text{ kW h}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Potencia = 5.34 = 6 \text{ kW}$$

Se utilizaría una planta generadora de 6 kW para que funcione las 24 horas/día, se estarían generando aproximadamente 128 kWh diarios (3848.5 kWh mensuales o 46823 kWh anuales). Al establecer la demanda del producto se obtuvo que los requerimientos de la granja rondan los 4894.21 kWh mensuales o 58730.56 kWh, con la cual verificamos que la planta de productos lácteos satisfará su demanda energética parcialmente.

#### 4.4 INGENIERÍA DEL PROYECTO

Los biodigestores tubulares están contruidos de plástico y suelen tener formas cilíndricas y alargadas y, al estar semienterrados, dejan visible la cúpula de biogás que se forma. El plástico usado en estos biodigestores suele ser polietileno de invernadero (con

durabilidades de entre 5-7 años si están bien protegidos) y geomembranas (con durabilidades de 10 a 15 años) (J. M. Herrero 2019). En este caso será utilizado el de geomembrana, el cual puede ser de PVC o polietileno, con grosores superiores a los 0,75 mm. Las geomembranas de PVC pueden ser reforzadas con malla interna de nylon o sin ella.



*Figura 20 Biodigestores tubulares de plástico (Ecuador) (arriba izquierda), de geomembrana de polietileno (México) (derecha), de geomembrana de PVC (Costa Rica) (abajo izquierda)*

*Fuente: J. M. Herrero (2019)*

Para la producción de biogás se instalarán 3 fermentadores, los biodigestores se colocarán uno a continuación del otro, conectados por medio de una caja de cemento; la capacidad total de los tres será aproximadamente de 330.86 m<sup>3</sup>.

#### 4.4.1 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL BIODIGESTOR

Para el cálculo de las dimensiones del biodigestor, se utilizará la metodología de Martí Herrero (2019), se calculará por medio de la tabla de longitudes óptimas, interpolando para la obtención del volumen deseado:

Tabla 19. Longitudes mínima, máxima y óptima de biodigestores tubulares.

<b>LONGITUDES MÍNIMA, MÁXIMA Y ÓPTIMA DE BIODIGESTORES TUBULARES</b>						
Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud biodigestor tubular		
				mínima (m)	máxima (m)	óptima (m)
2	1	0.32	0.64	3.2	6.4	4.8
3	1.5	0.48	0.95	4.8	9.5	7.2
4	2	0.64	1.27	6.4	12.7	9.5
5	2.5	0.80	1.59	8.0	15.9	11.9
6	3	0.95	1.91	9.5	19.1	14.3
7	3.5	1.11	2.23	11.1	22.3	16.7
8	4	1.27	2.55	12.7	25.5	19.1
9	4.5	1.43	2.86	14.3	28.6	21.5
10	5	1.59	3.18	15.9	31.8	23.9
14	7	2.23	4.46	22.3	44.6	33.4

Fuente: J. M. Herrero (2019)

Interpolando para aproximadamente 110.29 m<sup>3</sup> para cada biodigestor, da como resultado las siguientes dimensiones:

Tabla 20. Dimensiones de biodigestor tubular.

<b>DIMENSIONES DE BIODIGESTOR TUBULAR</b>			
Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud óptima para biodigestor tubular (m)
8.36	1.33	2.66	19.9

Fuente: Elaboración propia

Posterior a la determinación de las dimensiones del biodigestor, se procede a calcular las dimensiones de cada zanja, en total serán 3 para cada fermentador, la zanja es la que contendrá la fase líquida del biodigestor. Normalmente se usan zanjas trapezoidales (con paredes inclinadas para ayudar al terreno para que no se derrumbe) donde se colocan los biodigestores tubulares. Un trapecio viene determinado por su ancho inferior (a), ancho superior (b) y profundidad (p). Al proyectar este trapecio se tiene la zanja con una longitud L, la longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor, ver la Figura 21:

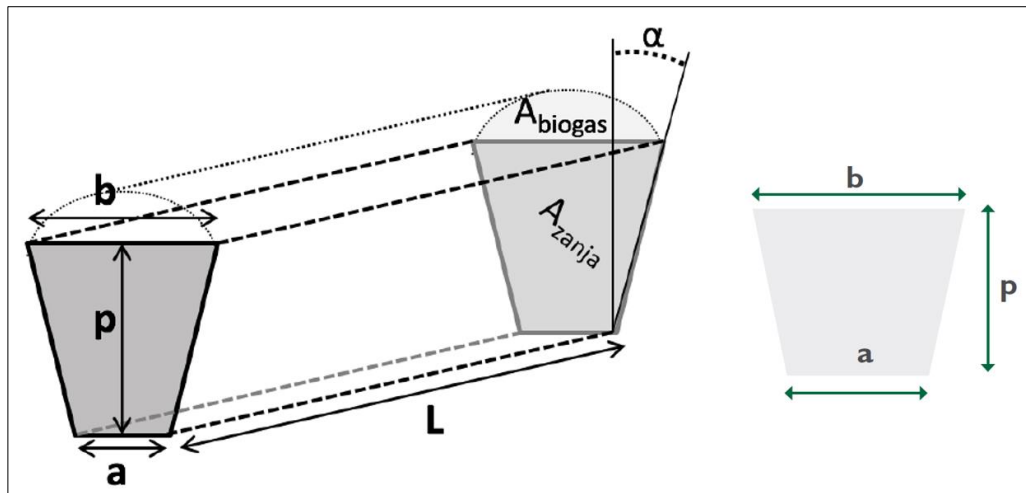


Figura 21 Esquema de una zanja trapezoidal, con sus diferentes parámetros de medida

Fuente: J. M. Herrero (2019)

Las dimensiones óptimas de a, b y p dependen fuertemente del tipo de suelo donde se vaya a cavar la zanja, ya que esto condicionará la inclinación de talud de las paredes (ángulo  $\alpha$ ). Para determinar los a, b y p óptimos de la zanja, por tanto, hay que considerar la inclinación del talud (ángulo  $\alpha$ ), así como el volumen del líquido (VL) y el del biogás (VB). En este caso, por el tipo de suelo se necesitará un  $\alpha = 30^\circ$ . Por ello, en la Tabla 21 se aportan los a, b y p óptimos para diferentes inclinaciones del talud, reportados como la multiplicación de un factor por el radio (r) de la circunferencia (C) del plástico a usar. A partir de la tabla de dimensiones óptimas, se obtienen las dimensiones de la zanja según detalle en la Tabla 21:



Tabla 21.: Parámetros de dimensionado de zanjas de biodigestores tubulares a partir del ángulo  $\alpha$  y el radio de la circunferencia disponible de manga tubular.

<b>PARÁMETROS DE DIMENSIONADO DE ZANJAS</b>								
$\alpha$ (°)	%VL	%VB	a (m)	b (m)	p (m)	A <sub>zanja</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>biogás</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>Total</sub> (m <sup>2</sup> )
0	88	12	1.49 x r	1.49 x r	1.57 x r	2.34 x r <sup>2</sup>	0.32 x r <sup>2</sup>	2.65 x r <sup>2</sup>
0	83	17	1.41 x r	1.41 x r	1.57 x r	2.22 x r <sup>2</sup>	0.45 x r <sup>2</sup>	2.67 x r <sup>2</sup>
0	80	20	1.34 x r	1.34 x r	1.57 x r	2.10 x r <sup>2</sup>	0.53 x r <sup>2</sup>	2.63 x r <sup>2</sup>
7.5	80	20	1.23 x r	1.63 x r	1.54 x r	2.20 x r <sup>2</sup>	0.55 x r <sup>2</sup>	2.75 x r <sup>2</sup>
15	76	24	1.02 x r	1.82 x r	1.49 x r	2.12 x r <sup>2</sup>	0.69 x r <sup>2</sup>	2.80 x r <sup>2</sup>
30	75	25	0.72 x r	2.26 x r	1.33 x r	1.98 x r <sup>2</sup>	0.66 x r <sup>2</sup>	2.64 x r <sup>2</sup>
45	65	35	0.43 x r	2.57 x r	1.07 x r	1.61 x r <sup>2</sup>	0.86 x r <sup>2</sup>	2.47 x r <sup>2</sup>

Fuente: J. M. Herrero (2019)

Tabla 22. Resultados dimensiones de la zanja.

<b>RESULTADOS DE LAS DIMENSIONES DE LA GRANJA</b>								
$\alpha$ (°)	%VL	%VB	a (m)	b (m)	p (m)	A <sub>zanja</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>biogás</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>Total</sub> (m <sup>2</sup> )
30	75	25	0.96	3.00	1.77	3.50	1.17	4.67

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.2 COMPONENTES DEL BIODIGESTOR

Las partes fundamentales que componen al biodigestor son las siguientes:

- Tanque de alimentación.
- Tubería de alimentación y descarga.
- Conducción y filtrado de biogás.
- Válvula de seguridad para el control de presión.
- Trampa de agua condensada
- Gasómetro

- Laguna de descarga de efluente del biodigestor.

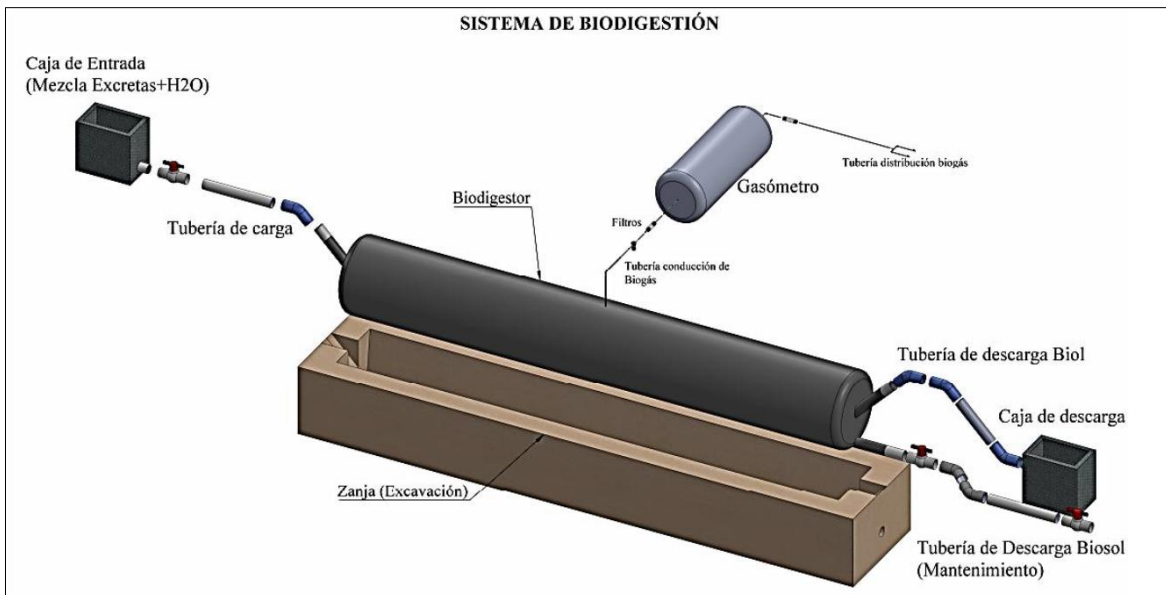


Figura 22 Sistema de biodigestión

Quelal & Ullauri (2019)

### A. Tanque de alimentación

El dimensionamiento del tanque de alimentación se realiza con la carga diaria de la mezcla de alimentación del biodigestor, es necesario agregar un 10% más del volumen de la mezcla diaria ya que con esto se evitará derrames de la mezcla, el volumen de la mezcla es de 6893.02 litros y el 10% es de 689.30 litros lo cual nos indica que el volumen del tanque debe de ser de 7582.32 litros, para conocer las dimensiones es necesario pasar estos datos a metros cúbicos que nos daría 7.58 m<sup>3</sup>. Por lo que, a efectos de dimensionar el tanque de alimentación, se selecciona como ancho un metro, un metro de altura y 8 metros de largo:

$$VT = a \cdot b \cdot p$$

$$VT = 1m \cdot 1m \cdot 8m$$

$$VT = 8 m^3$$

Dónde:

- VT = Volumen total ( $m^3$ ); a = Ancho de la fosa de carga (m); b = Longitud de la base de la fosa (m); p = Altura de la fosa (m).

## **B. Tuberías de alimentación y descarga**

Según Quelal & Ullauri (2019), la tubería de alimentación y descarga debe ser de 100 mm como mínimo, el diámetro de la tubería depende del tipo de materia orgánica con la que se va a trabajar, la tubería debe de ser resistente a la corrosión, lo más recomendable es utilizar material PVC ya que son muy resistentes y no se corroen, con base a estos datos se optó por seleccionar la tubería de PVC de 4 pulgadas, esta tubería no estará sometida a ningún tipo de presiones que ejerza el biodigestor.

## **C. Conducción y filtrado de biogás**

El proceso de biodigestión necesita de varios componentes para su funcionamiento, así como para mejorar la calidad de los productos que nos brindara, entre sus componentes se determinara las dimensiones de las tuberías a utilizar tanto para la conducción de biogás, en esta se instala el filtro, la válvula de alivio de presión y el gasómetro. Entre sus componentes se puede mencionar los siguientes:

- I. Tubería de conducción de biogás.
- II. Válvula de alivio de presión.
- III. Filtro de ácido sulfhídrico.
- IV. Gasómetro.



*Figura 23 Sistema de conducción y filtrado de biogás*

*Fuente: Quelal & Ullauri (2019)*

### **Tubería de conducción de biogás**

La tubería de conducción de biogás se determinó teniendo en cuenta que el sistema de biodigestión deberá trabajar a baja presión, con una presión no mayor a los 100 mbar, para ello se seleccionó una tubería de PVC ya que es bastante resistente a la corrosión, se puede utilizar tubería galvanizada pero es de mucho mayor costo, por lo que se optó por la tubería de PVC de 3/4 pulgada.

### **Válvula de seguridad y control de presión**

La válvula de seguridad nos permite controlar la presión del biogás, este elemento protege al biodigestor de una sobrepresión, para poder instalar una válvula es necesario conocer la presión que puede soportar el biodigestor, la cual depende de las variables altura, la densidad y gravedad.

### **Filtro de ácido sulfhídrico**

El sulfuro de hidrógeno  $H_2S$  (gaseoso), o ácido sulfhídrico en disolución acuosa, es un gas inflamable y se forma en el digestor por la transformación de compuestos que contienen azufre como las proteínas. Se puede asumir que con el uso de estiércol de vaca se obtendrá un biogás con un contenido de 0.3% en volumen (aproximadamente 3000 ppm) de  $H_2S$ . El filtro de ácido sulfhídrico tiene la función de retener las partículas de ácido sulfhídrico mediante el material filtrante que es óxido ferroso (virutas de fierro oxidado). Es necesario cambiar el material filtrante cada cierto tiempo, cuando el biogás tenga un olor a azufre o huevo podrido. Para cambiar el material filtrante se debe cerrar todas las válvulas de paso, luego proceder a cambiar y abrir todas las llaves del sistema de biodigestión.

### **Gasómetro**

El biogás que se va produciendo será conducido por las tuberías hasta el depósito, este se puede confeccionar con el mismo material del biodigestor por lo que tiene las mismas características técnicas, y va ubicado cerca al lugar de consumo de biogás, las dimensiones de este gasómetro son elegidas de acuerdo al tiempo en el que se va a realizar la combustión al biogás. El gasómetro se dimensiona teóricamente para un tiempo de retención máximo de 1 día, ya que el costo del material es elevado.

### **Laguna de descarga de efluente**

La laguna o tanque de descarga se encuentra en la salida del biodigestor, esta es la estructura que permite recibir y almacenar el biol (biofertilizante) que se obtiene como producto de la carga y descarga diaria del biodigestor.



*Figura 24 Imagen de referencia del diseño final de los biodigestores*

*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.4.3 ORGANIZACIÓN DEL RECURSO HUMANO**

Posterior a la instalación del biogás, debe designarse una persona de los empleados de la granja para el control de los parámetros de producción de biogás, además de las actividades de alimentación de carga diaria de los biodigestores y descarga de los lodos residuales, además debe de programarse mínimo una vez cada dos años el mantenimiento preventivo y correctivo de los biodigestores. Entre las actividades a realizar para el control y mantenimiento de encuentran las siguientes:

- Revisar diariamente que el nivel del agua en la válvula de alivio se encuentre a una altura adecuada, esta no debe ser mayor a los 10 cm de altura. En caso de no estar en el nivel adecuado se debe completar el agua a su nivel de trabajo.
- Hacer inspecciones visuales a lo largo de la tubería de conducción de biogás, especialmente donde se encuentran formado los valles, y dirigir cualquier acumulación de agua hacia la válvula de alivio o al biodigestor.
- Verificar periódicamente que no existan fugas en las mangueras, válvulas, acoples, uniones, reducciones y en todos los componentes de conducción. Un indicador importante para considerar es el olor, en caso de existir alguna fuga se debe cambiar el componente dañado.
- El filtro de ácido sulfhídrico tiene la función de retener las partículas de ácido sulfhídrico mediante el material filtrante que es óxido ferroso (virutas de hierro oxidado). Es necesario cambiar el material filtrante, se recomienda cambiarlo anualmente o cuando el biogás tenga un olor a azufre o huevo podrido. Para cambiar el material filtrante se debe cerrar todas las válvulas de paso, luego proceder a cambiar y abrir todas las llaves del sistema de biodigestión.
- En caso de tener fugas en el gasómetro se recomienda buscar la fisura o fuga, luego de encontrar la falla usar todo el biogás que mantiene y cuando se encuentre vacío parchar limpiando bien el lugar afectado, se debe usar el mismo material del gasómetro para su parche y como pegamento se debe usar llama roja.

El biodigestor puede durar varias décadas si se protege adecuadamente. Se recomienda construir un cerco perimetral que limite el acceso a personal no autorizado y de animales que pudieran ingresar y dañar el sistema. La construcción del techo que permita proteger contra objetos que puedan caer sobre el biodigestor, como ramas de árboles, eleva el nivel de protección. (Quelal & Ullauri, 2019). Se propone el siguiente ciclo de mantenimiento:

Tabla 23. Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES														
ACTIVIDAD	1er trimestre			2do trimestre			3er trimestre			4to trimestre			Persona encargada	
	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Proceso de limpieza														
Revisión de nivel de agua y válvula de alivio														Personal capacitado
Verificación de fugas en mangueras, válvulas, acoples, uniones, reducciones, etc														Personal capacitado
Revisión de filtro de ácido sulfhídrico														Personal capacitado
Mantenimiento trimestral (correctivo y preventivo)														Personal capacitado
Mantenimiento predictivo														Especialista en supervisar y dar soporte

*Programación de actividades de mantenimiento y control. El mantenimiento correctivo se realizará siempre que sea necesario en caso de falla o imprevistos en el funcionamiento del biodigestor.*

*Fuente: Elaboración propia.*



#### 4.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO TÉCNICO

- Según el método cualitativo por puntos, el tipo de biodigestor más adecuado es el biodigestor horizontal del tipo tubular, el cual acumuló 7.8 puntos, superando las otras alternativas evaluadas, debido a que éste es frecuentemente utilizado en áreas rurales de clima tropical y su instalación, manejo y mantenimiento no requieren de métodos especializados de gran complejidad.
- Para calcular el volumen del biodigestor se utilizó la metodología de la Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores (Martí Herrero, 2019), dando como resultado 330.86 m<sup>3</sup> de biogás para un tiempo de retención de 30 días, el volumen en la práctica puede variar de acuerdo a la alimentación, medicación y estilo de vida que se le provea a cada semoviente.
- Se estimó el potencial energético de la granja, en el cual corresponde a 121.81 m<sup>3</sup>/día de producción de biogás, el 52.13% será utilizado para su uso térmico como calor disponible en cocinas domésticas e industriales, dejando disponibles para generación de energía eléctrica 58.31 m<sup>3</sup> de biogás diarios, por lo que se puede instalar un generador de 6 kW para que funcione las 24 horas/día, produciendo aproximadamente 3654.3 kWh mensuales.
- Se determinaron las dimensiones del biodigestor tubular, dando como resultado una circunferencia de 8.36 m, un radio de 1.33 m, 2.66 m de diámetro y 19.9 m de longitud óptima utilizando como base tablas de longitud óptimas, el terreno disponible (43 m ancho x 26 m largo) presenta la ventaja de ser lo suficientemente espacioso para la instalación del biodigestor.
- Se determinó las dimensiones de la zanja trapezoidal, la cual poseería una profundidad de 1.77 m, 0.96 m para el lado más corto y 3 m el lado más largo del trapecoide que conformará la zanja. La forma de la granja depende en gran medida

del tipo de suelo que posea el terreno en el que será localizado el biodigestor, a mayor ángulo de inclinación menor densidad del suelo.

- Implementando el cronograma de actividades sugerido para el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, se espera que la vida útil del biodigestor sea de 10 años.

## **5 ESTUDIO FINANCIERO Y ECONÓMICO**

### **5.1 OBJETIVOS**

### **5.2 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la viabilidad de implementar el funcionamiento de un biodigestor en la planta lechera “Caluco”, durante un periodo de diez años.

#### **5.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los costos en adecuación de infraestructura, implementación del biodigestor, generación de electricidad, entre otros, para establecer la inversión inicial del proyecto.
- Realizar las proyecciones de los ahorros que puedan generarse en energía eléctrica y combustibles fósiles como el GLP, al poner en marcha un biodigestor en un período de diez años.
- Analizar los indicadores de rentabilidad, a partir de los ingresos y egresos realizados en el proyecto, al implementar el funcionamiento de un biodigestor.

### **5.3 INVERSIÓN INICIAL**

Previo a iniciar la producción de biogás, será necesario realizar algunas inversiones. Se deberá adecuar la infraestructura del terreno, comprar el biodigestor y el equipamiento eléctrico, mano de obra, etc. La vida útil del biodigestor de geomembrana de PVC, es de 10 años aproximadamente, terminado ese periodo de tiempo deberá realizarse nuevamente la inversión en otro biodigestor.

En este apartado se determinará la inversión inicial del proyecto, utilizando como fuente de información la proporcionada en cotizaciones con proveedores de servicios, así

como ferreterías y almacenes. El plástico de geomembrana y los generadores de energía eléctrica serán importados.

A partir del estudio técnico se determinaron los principales componentes del biodigestor, hacer una lista completa de materiales siempre es difícil, pues cada biodigestor se ha de adaptar a cada lugar específico. Aun así, se puede dar una lista de materiales que permitan construir el biodigestor, hacer la conducción de biogás, válvula de alivio y filtro de ácido sulfhídrico, reservorios, etc. Algunas cantidades variarán de acuerdo a cada proyecto. La siguiente tabla ilustra los principales materiales para cada componente:

*Tabla 24. Principales materiales utilizados para la instalación de cada biodigestor.*

<b>PRINCIPALES MATERIALES PARA LA INSTALACIÓN DEL BIODIGESTOR</b>		
<b>Componente</b>	<b>Comentario</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Zanja</b>		
Sacos	Son de utilidad para darle forma adecuada a la zanja. En lugares donde el tipo de suelo es rocoso se pueden usar sacos terreros para rellenar agujeros y dar un acabado liso a las paredes de la zanja.	Los necesarios
Plásticos viejos, lonas o sacos	Se puede cubrir la zanja con una "sábana" de material en desuso (como plásticos viejos, sacos, etc.). Esto ayuda a proteger el biodigestor cuando está siendo introducido en la zanja.	Los necesarios
<b>Biodigestor</b>		
Manga tubular	Puede ser un biodigestor prefabricado de geomembrana de PVC o geomembrana de polietileno.	Los biodigestores prefabricados se compran con las dimensiones ya dadas por diseño o por el fabricante.

Tubería de desagüe de PVC	Puede ser de 4" o de 6". Se recomienda de 4" cuando se trabaja con cargas muy líquidas y 6" cuando son estiércoles. El de 6" permite un mejor amarre con el plástico tubular.	3 metros, que se dividirá en dos piezas de 1.5m, una pieza para la entrada y otra para la salida.
Liga de cámara de neumático (también llamada boya o tubo)	Se puede conseguir tubos usados de llantas de camión/volqueta, o tubos nuevos de vehículo liviano. Cortar tiras continuas de ~5cm de ancho.	Dos cámaras de aro 14 o 16 o 30 a 40 m metros de liga de neumático ya cortada
Adaptador de tanque en PVC o polipropileno (también llamado flange, pasamuros o brida)	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4", la cual se encuentra en las ferreterías. En caso de no encontrarlo se puede hacer usando otros accesorios típicos de las salidas que se hacen en los tanques de agua.	1
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4". Puede ser de PVC, de polietileno o manguera. Se usará para conectar la salida de biogás a la válvula de alivio.	3 metros
Accesorios PVC	Se puede usar de rosca o pega en PVC, o con uniones flex para manguera.	Los que haga falta para unir el adaptador de tanque con la Tee de la válvula de alivio.
Cuerda	Una cuerda plástica mínimo de 1/4 de pulgada	2.5 veces en metros la longitud del biodigestor.
Cinta teflón	Se recomienda usar cinta teflón (10 vueltas) en la rosca del adaptador de tanque.	1
Válvula de alivio	Será el primer elemento que encuentre la conducción de biogás al salir del biodigestor. Se compone de varios elementos que es necesario conectar.	Se requiere al menos de una Tee, una pieza de tubería de 30 cm, una botella de 2 litros de refresco vacía, y una llave de paso plástica. Considerar los accesorios necesarios para ajustar la

		tubería o manguera que viene del adaptador de tanque.
<b>Conducción de biogás</b>		
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque). Puede ser tubería rígida de PVC (pegable o roscable) o de polietileno (roscable). También se puede usar tubería flexible que usa accesorios de presión (flex) que requieren de abrazadera en cada unión.	Tantos metros como haga falta para llevar el biogás desde el biodigestor al punto de consumo
Llaves de bola	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 2
Tee	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Codo	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Cinta teflón	Se recomienda usar cinta teflón (10 vueltas) en toda conexión de roscada.	1 o 2, dependiendo de los accesorios de rosca que se usen.
Cocina	Se puede adaptar cualquier cocina de gas considerando disminuir la mezcla con aire y ensanchando el conducto del chicle o quitándolo.	Se recomienda dos hornillas o quemadores.
Reservorio (opcional)	Se puede trabajar con el mismo material en que está fabricado el tanque del biodigestor. Se recomienda usar geomembrana de PVC o polietileno. Para disminuir costos se puede hacer con forma de almohada.	Un reservorio de 2 metros de largo y 2 metros de circunferencia es recomendable para biodigestores domésticos.

*Fuente: Quelal & Ullauri (2019)*

Además de estos materiales, adicionalmente la instalación de biodigestores requiere pocas herramientas. Por un lado, están las herramientas para cavar la zanja, tales como palas, picos, etc.; para la instalación del biodigestor se requiere de sierra, tijeras entre otros; para la protección y la conducción requiere pegamento y destornilladores.

### 5.3.1 DETERMINACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL

La inversión se encuentra clasificada en los siguientes apartados: infraestructura (consiste en la adecuación del terreno para el biodigestor e instalaciones de agua potable), biodigestor para la producción de biogás, equipamiento eléctrico, mano de obra, inversión en investigación y capacitaciones. Los cuales se detallan en las tablas 25-30:

*Tabla 25 Inversión en infraestructura*

<b>INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V.Unitario</b>	<b>V.Total</b>
Cemento gris Portland 42.5 kg	35	\$ 8.15	\$ 285.25
Lámina canal gris pie cuadrado	50	\$ 19.27	\$ 963.50
Polín C 4x2 pulg	25	\$ 16.90	\$ 422.50
Cerca perimetral	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Metros cúbicos de arena	2.8	\$ 13.50	\$ 37.80
Metros cúbicos de piedra	1.8	\$ 22.50	\$ 40.50
Adecuación de instalaciones de agua potable	—	—	\$ 1,400.00
Madera	—	—	\$ 2,500.00
Varios	—	—	\$ 500.00
<b>Total</b>			<b>\$ 6,299.55</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 26 Inversión en instalación de biodigestor

<b>BIODIGESTOR PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V.Unitario</b>	<b>V.Total</b>
Geomembrana PVC 1 mm, accesorios	3	\$ 1,749.10	\$ 5,247.30
Gasómetro PVC 1 mm	1	\$ 583.02	\$ 583.02
Gastos de importación	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Válvula de PVC 4 pulg	6	\$ 54.95	\$ 329.70
Pegamento WELD ON	3	\$ 18.26	\$ 54.78
Tubo blanco Rival 4 pulg	6	\$ 19.75	\$ 118.50
Tee de PVC roscada de 3/4 pulg	9	\$ 0.50	\$ 4.50
Yarda de manguera negra Flex 3/4 de pulg	300	\$ 0.75	\$ 225.00
Codo 45° de PVC de 4 pulg	6	\$ 8.95	\$ 53.70
Adaptador macho de PVC 4 pulg	12	\$ 2.60	\$ 31.20
Abrazadera de 4 pulg	9	\$ 3.05	\$ 27.45
Válvula universal de PVC 3/4 pulg	6	\$ 1.25	\$ 7.50
Válvula de bola de 3/4 de pulg	3	\$ 5.95	\$ 17.85
Tubo roscable de 3/4 de pulg	6	\$ 4.25	\$ 25.50
Adaptador Flex de 3/4 de pulg	9	\$ 0.58	\$ 5.22
Cinta teflón	3	\$ 0.95	\$ 2.85
Tapón hembra de 3 pulg	3	\$ 1.75	\$ 5.25
Tapón macho de 3 pulg	3	\$ 2.75	\$ 8.25
Pega tubo	3	\$ 1.20	\$ 3.60
Tee de 3/4 de pulg	3	\$ 1.25	\$ 3.75
Adaptadores de 3/4 de pulg	6	\$ 0.14	\$ 0.84
Bushing PVC 3/4 pulg	6	\$ 0.80	\$ 4.80
Adaptador Flex de 3/4 de pulg	6	\$ 0.14	\$ 0.84
Adaptador soldable	6	\$ 2.44	\$ 14.64
Bomba y filtro	6	\$ 600.00	\$ 3,600.00
Herramientas para operación	—	—	\$ 10.00
Herramientas para mantenimiento	—	—	\$ 10.00
Varios	2	\$ 130.00	\$ 260.00
<b>Total</b>			<b>\$ 10,806.04</b>

Fuente: Elaboración propia, datos tomados de distintas ferreterías



Tabla 27 Equipamiento eléctrico

<b>EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V.Unitario</b>	<b>V.Total</b>
Generador de energía a gasolina 6 kW	2	\$ 1,450.00	\$ 2,900.00
Gastos de importación	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Adecuación de instalaciones eléctricas	1	\$ 350.00	\$ 350.00
Instalación de motor generador y pruebas	1	\$ 350.00	\$ 350.00
Varios	—	—	\$ 1,491.08
Total			\$ 5,241.08

Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación de los costos en mano de obra, inicialmente, se necesitarán albañiles para la preparación física del terreno en la que se colocará la zanja y la construcción de la infraestructura que le brindará protección a los biodigestores para evitar cualquier perforación o daño en los mismos, posteriormente la mano de obra estructural y un ingeniero, quienes serán los encargados en la instalación del biodigestor y de las conexiones con las tuberías y adecuación de la instalación eléctrica.

Tabla 28 Inversión realizada en mano de obra

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>#día</b>	<b>\$día</b>	<b>Total</b>
Mano de obra estructural	2	30	\$ 12.00	\$ 720.00
Mano de obra albañiles	2	40	\$ 17.00	\$ 1,360.00
Ingeniero	1	30	\$ 40.00	\$ 1,200.00
Total				\$ 3,280.00

Fuente: Elaboración propia.

Otras inversiones consideradas son: el estudio de prefactibilidad del proyecto, estudio de impacto ambiental requerido para la gestión de los permisos medioambientales en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), capacitaciones y análisis de suelos. Se gestionará la ampliación de permiso medioambiental que actualmente posee la planta para adicionar las actividades de cogeneración, este trámite se realiza en línea en la página oficial del ministerio, sin presentar, a la fecha, arancel adicional, únicamente el

incurrido en el estudio de impacto ambiental. Es necesario presentar el estudio de impacto medioambiental para determinar si un proyecto entra en la categoría de impacto moderado alto y requiera fianza y compensación, no obstante, la puesta en marcha de biodigestores, lejos de representar un impacto alto en los proyectos, beneficia para al tratamiento de desechos biológicos, por lo que su impacto no es negativo.

*Tabla 29 Inversión realizada en investigación y capacitaciones*

<b>INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN Y CAPACITACIONES</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V.Unitario</b>	<b>V.Total</b>
Estudio de prefactibilidad del proyecto	1	\$ 750.00	\$ 750.00
Estudio de impacto medio ambiental	1	\$ 750.00	\$ 750.00
Análisis y estudio de suelos	1	\$ 280.00	\$ 280.00
Permisos medioambientales de operación	—	—	\$ -
Días de capacitación a personal técnico	3	\$ 150.00	\$ 450.00
Total			\$ 2,230.00

*Fuente: Elaboración propia.*

Teniendo el desglose anterior, se procede a la estimación de la inversión inicial. Se adiciona el 10% del valor total para prever cualquier imprevisto que se desarrolle en la implementación del proyecto.

*Tabla 30 Inversión inicial total del proyecto*

<b>INVERSIÓN INICIAL</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo en \$</b>	<b>Referencia</b>
Inversión en infraestructura	\$ 6,299.55	Tabla 25
Biodigestor para producción de biogás	\$ 10,806.04	Tabla 26
Equipamiento eléctrico	\$ 5,241.08	Tabla 27
Mano de obra	\$ 3,280.00	Tabla 28
Investigación y capacitaciones	\$ 2,230.00	Tabla 29
Más 10% de imprevistos	\$ 2,785.67	
Total	\$ 30,642.34	

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.4 CRONOGRAMA DE INVERSIÓN

En el cronograma de inversión del proyecto se reflejan los montos de la inversión inicial desembolsados en un período establecido de tres meses. Se reflejan los ingresos, éstos son el préstamo bancario realizado por un monto de \$25,000, el cual se pagará en un período de cinco años y \$5,642.34 que serán financiados con recursos propios de la granja. Más adelante, se realizarán los detalles del financiamiento a efecto de reflejar las amortizaciones y los intereses a cancelar.

Tabla 31 Cronograma de inversión

CRONOGRAMA DE INVERSIÓN													
DETALLE	OCTUBRE			NOVIEMBRE				DICIEMBRE			TOTAL		
<b>Ingresos</b>													
Recursos propios	\$ 5,642.34												\$ 5,642.34
Financiamiento	\$ 25,000.00												\$ 25,000.00
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 30,642.34</b>												<b>\$ 30,642.34</b>
<b>Egresos</b>													
Estudio de prefactibilidad del proyecto	\$ 750.00												\$ 750.00
Estudio de impacto medio ambiental	\$ 750.00												\$ 750.00
Análisis y estudio de suelos	\$ 280.00												\$ 280.00
Permiso medioambiental de operación	\$ -												\$ -
Inversión en infraestructura	\$ 4,899.55	\$ 1,400.00											\$ 6,299.55
Construcción de Biodigestor para producción de biogas		\$ 10,806.04											\$ 10,806.04
Equipamiento eléctrico			\$ 4,541.08							\$ 350.00		\$ 350.00	\$ 5,241.08
Mano de obra estructural				\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00	\$ 120.00				\$ 720.00
Mano de obra albañiles		\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00	\$ 170.00				\$ 1,360.00
Mano de obra ingeniero							\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 1,200.00
Días de capacitación a personal técnico												\$ 450.00	\$ 450.00
Imprevistos (Corresponden al 10%)												\$ 2,785.67	\$ 2,785.67
<b>Total 1</b>	<b>\$ 6,679.55</b>	<b>\$ 12,376.04</b>	<b>\$ 4,711.08</b>	<b>\$ 290.00</b>	<b>\$ 290.00</b>	<b>\$ 290.00</b>	<b>\$ 490.00</b>	<b>\$ 490.00</b>	<b>\$ 490.00</b>	<b>\$ 550.00</b>	<b>\$ 200.00</b>	<b>\$ 3,785.67</b>	<b>\$ 30,642.34</b>
<b>SALDO</b>	<b>\$ 23,962.79</b>	<b>\$ 11,586.75</b>	<b>\$ 6,875.67</b>	<b>\$ 6,585.67</b>	<b>\$ 6,295.67</b>	<b>\$ 6,005.67</b>	<b>\$ 5,515.67</b>	<b>\$ 5,025.67</b>	<b>\$ 4,535.67</b>	<b>\$ 3,985.67</b>	<b>\$ 3,785.67</b>	<b>\$ -</b>	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Se cancelará el 18.41% de la inversión con los fondos propios de la empresa, complementándose con un valor a prestar de \$25,000 a una tasa del 9.5% en un banco local, en un periodo de 5 años. Para determinar las anualidades se utilizará la siguiente fórmula:

$$A = P \left[ \frac{i (i + 1)^n}{(i + 1)^n - 1} \right]$$
$$A = \$25,000 \left[ \frac{0.095 (0.095 + 1)^5}{(0.095 + 1)^5 - 1} \right]$$
$$A = \$6,510.91$$

Donde:

V. A: Anualidad a pagar, P: valor a prestar, i= Tasa de interés, n= período en años.

En la Tabla 32 y Tabla 33 se muestra detalle del préstamo y la tabla del pago de la deuda, en donde se indican los intereses, la anualidad, pago de capital y saldo para cada uno de los cinco años del préstamo:

*Tabla 32 Información del préstamo*

<b>PRÉSTAMO REALIZADO</b>	
<b>Mensualidad</b>	<b>Valor</b>
Préstamo	\$ 25,000.00
Tasa de interés	9.50%
n (años)	5
Anualidad	\$ 6,510.91
Mensualidad	\$ 542.58

*Fuente: Elaboración propia.*

Tabla 33 Tabla del pago de la deuda

<b>FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO</b>				
<b>Año</b>	<b>Interés</b>	<b>Anualidad</b>	<b>Pago a capital</b>	<b>Saldo</b>
0				\$ 25,000.00
1	\$ 2,375.00	\$ 6,510.91	\$ 4,135.91	\$ 20,864.09
2	\$ 1,982.09	\$ 6,510.91	\$ 4,528.82	\$ 16,335.27
3	\$ 1,551.85	\$ 6,510.91	\$ 4,959.06	\$ 11,376.21
4	\$ 1,080.74	\$ 6,510.91	\$ 5,430.17	\$ 5,946.04
5	\$ 564.87	\$ 6,510.91	\$ 5,946.04	\$ 0.00

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 BENEFICIOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Al poner en marcha un biodigestor, el gas metano que se obtiene posee diversos usos con potencial energético, los cuales se han detallado a lo largo de este estudio. En el capítulo 4, se estimó que la forma más eficiente de aprovechar este potencial es satisfacer la demanda de gas licuado (GLP) para que sea utilizado en cocinas, y el restante, para producción de electricidad.

- I. **ENERGÍA TÉRMICA:** En la sección 4.3.4. se establece que, del total de biogás producido, el 52.13% reemplazará el GLP utilizado en cocinas, generando ahorros en los 2 cilindros de 35 lb diarios utilizados. De acuerdo a los datos proporcionados por el Ministerio de Economía, los precios para el cilindro de 35 libras en el mes de enero 2020 corresponden a \$13.69 dólares, (ver tarifa en Anexo 4), la cifra se mantiene hasta la fecha de agosto, estas cifras generalmente no varían, salvo condiciones especiales, por lo que se calculan los siguientes ahorros:

Tabla 34 Ahorros de energía térmica para cocción (anuales)

<b>AHORROS DE ENERGÍA TÉRMICA PARA COCCIÓN (ANUALES)</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Cilindros de 25 lbs diarios	2
Valor unitario	\$ 13.69
Cantidad de días	365
<b>Total</b>	<b>\$ 9,993.70</b>

Fuente: Elaboración propia

- II. **ENERGÍA ELÉCTRICA:** Los restantes 58.31 metros cúbicos de biogás producidos se utilizarán para energía eléctrica, por lo que, para un generador de 6 kW que funcione 24 horas, se obtendrán 128 kWh diarios (3848.5 kWh mensuales o 46823 kWh anuales). Se toma en consideración el cargo variable de energía de 0.153303 US\$/kWh, correspondiente a enero 2020. Ver tarifa en Anexo 5.

Tabla 35 Ahorros de energía eléctrica (anuales)

<b>AHORROS DE ENERGÍA (ANUALES)</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>
Producción de energía	128.16 kWh
Precio de la energía (CLESA)	\$ 0.15330/kWh
Ahorros diarios	\$ 19.65
Cantidad de días	365 días
<b>Total</b>	<b>\$7,171.27</b>

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación de los ahorros producidos por año, se suman los beneficios calculados en la Tabla 34Tabla 4 y en la Tabla 35Tabla 5:

Tabla 36 Ahorros anuales de energía

<b>AHORROS ANUALES DE ENERGÍA</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Costo en \$</b>	<b>Referencia</b>
Generación de energía térmica	\$ 9,993.70	Tabla 34
Generación de energía eléctrica	\$7,171.27	Tabla 35
<b>Total</b>	<b>\$17,164.97</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 5.7 COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

Los costos de funcionamiento consisten principalmente en la depreciación y las actividades de mantenimiento mensual, trimestral y anual. En el caso de salarios, se considera que se empleará a los corraleros que se encuentran trabajando dentro de la granja.

### 5.7.1. DEPRECIACIÓN

La depreciación se calculó utilizando el método de línea recta, asignando el porcentaje del 20% al valor total de conformidad a lo indicado en el Art. 30 de la Ley de Impuesto sobre la Renta durante un período de 5 años:

Tabla 37 Depreciación del biodigestor y generador

<b>DEPRECIACIÓN POR INCORPORACIÓN DE BIODIGESTOR</b>							
Detalle	Valor	Porcentaje	1	2	3	4	5
Generador de energía a gasolina	2,900.00	20%	580.00	580.00	580.00	580.00	580.00
Biodigestor	10,806.04	20%	2,161.21	2,161.21	2,161.21	2,161.21	2,161.21
<b>Total</b>			<b>2,741.21</b>	<b>2,741.21</b>	<b>2,741.21</b>	<b>2,741.21</b>	<b>2,741.21</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.7.2. MANTENIMIENTO MENSUAL

Se incorporan los costos en implementos empleados para el funcionamiento del biodigestor, entre los cuales están cascos, lentes, guantes, gabachas, etc., los cuales deben cambiarse periódicamente debido al contacto con las excretas de los animales. El personal operativo encargado para la limpieza y revisión diarias serán empleados de la granja previamente capacitados:

Tabla 38 Costo por funcionamiento (mensual)

<b>COSTO POR FUNCIONAMIENTO (MENSUALES)</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V.Unitario</b>	<b>V.Total</b>
Cascos de seguridad	2	\$ 3.95	\$ 7.90
Lentes de seguridad	2	\$ 2.60	\$ 5.20
Guantes de cuero manga larga	3	\$ 3.30	\$ 9.90
Gabacha de cuero	3	\$ 10.95	\$ 32.85
Botas de hule	3	\$ 5.95	\$ 17.85
Combustible y supervisión	1	\$ 60.00	\$ 60.00
Total			\$ 133.70

Fuente: Elaboración propia

### 5.7.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO

Se realiza trimestralmente para la revisión general de equipos de medición, generador, bomba, además se mantiene un fondo de mantenimiento correctivo. Los costos por este mantenimiento se encuentran en la Tabla 39:

Tabla 39 Mantenimiento correctivo y preventivo

<b>MANTENIMIENTO CORRECTIVO Y PREVENTIVO (TRIMESTRAL)</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>
Compra de repuestos	\$ 25.00
Mantenimiento en equipos de medición	\$ 15.00
Mantenimiento en el generador	\$ 75.00



Mantenimiento en la bomba	\$ 10.00
Mantenimiento en la planta en general	\$ 75.00
Mantenimiento de otros equipos/instalaciones variadas	\$ 75.00
Fondo para mantenimiento correctivo de emergencia	\$ 10.00
Gastos varios	\$ 5.00
Total	\$ 290.00

*Fuente: Elaboración propia*

#### 5.7.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO ANUAL

Se realiza anualmente para la revisión especializada de la planta generadora de energía eléctrica, se realiza el cambio de filtro de ácido sulfhídrico, gasómetros, entre otros. Se muestra en la Tabla 40:

*Tabla 40 Mantenimiento predictivo*

<b>MANTENIMIENTO PREDICTIVO (ANUAL)</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>
Personal operativo (Especialista en supervisar y dar mantenimiento a los biodigestores)	\$ 150.00
Mantenimiento del generador	\$ 50.00
Stock de repuestos del generador	\$ 50.00
Mantenimiento de la bomba	\$ 100.00
Stock de repuestos de la bomba	\$ 40.00
Mantenimiento de gasómetros	\$ 15.00
Mantenimiento de filtros	\$ 100.00
Gastos de envío e introducción al país	\$ 20.00
Total	\$ 525.00

*Fuente: Elaboración propia.*

El total de costo anual para cada uno de los mantenimientos realizados en la planta lechera Caluco, se refleja en la Tabla 41 y el costo total de funcionamiento en la Tabla 42:

Tabla 41 Costo anual por mantenimiento

<b>COSTO TOTAL POR MANTENIMIENTO</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>	<b>No/ año</b>	<b>V.Total</b>
Costo por funcionamiento (mensuales)	\$ 133.70	12	\$ 1,604.40
Mantenimiento correctivo y preventivo	\$ 290.00	4	\$ 1,160.00
Mantenimiento predictivo	\$ 525.00	1	\$ 525.00
Total			\$ 3,289.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Costos totales por funcionamiento

<b>COSTO POR FUNCIONAMIENTO</b>											
<b>Detalle</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>Referencia</b>
Depreciación del generador	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	Tabla 37
Depreciación del biodigestor	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	Tabla 37
Costo por funcionamiento	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	\$ 1,604.40	Tabla 41
Mantenimiento correctivo y preventivo	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	\$ 1,160.00	Tabla 41
Mantenimiento predictivo	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	\$ 525.00	Tabla 41
Total	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	

Fuente: Elaboración propia.

## 5.8 GASTOS DE OPERACIÓN

El proyecto de funcionamiento de un biodigestor, incluye únicamente los gastos financieros correspondientes a los intereses del préstamo realizado el cual deberá solventarse en un periodo de cinco años, el cual se encuentra en detalle en la Tabla 33. Por lo tanto, los gastos financieros se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 43 Gastos financieros

<b>GASTOS FINANCIEROS</b>					
<b>Detalle</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Intereses	\$ 2,375.00	\$ 1,982.09	\$ 1,551.85	\$ 1,080.74	\$ 564.87
Total	\$ 2,375.00	\$ 1,982.09	\$ 1,551.85	\$ 1,080.74	\$ 564.87

Fuente: Elaboración propia.

## 5.9 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

Se ha calculado la TMAR, con el promedio proyectado de inflación (i) durante 10 años, ya que este es la vida útil del biodigestor en el proyecto, y considerando un premio al riesgo (f) de 0.1, lo cual da como resultado 11.47%. Lo que puede verificarse en la siguiente tabla:

Tabla 44 Cálculo de la TMAR

<b>TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO</b>		
<b>Inflación (i) (Promedio de los 10 años proyectados)</b>	<b>Premio al riesgo (f)</b>	<b>TMAR = i + f + if</b>
1.34%	10.00%	11.47%

Fuente: Elaboración propia.

Al multiplicar el resultado de la tabla anterior por la ponderación que corresponde a al 18% de los fondos propios de la granja Caluco y la tasa de interés del 9.5% por el financiamiento bancario que es 82% da como resultado 9.86% que será la TMAR del proyecto.

*Tabla 45 Cálculo de la TMAR ponderada*

<b>TMAR PONDERADA</b>			
<b>Detalle</b>	<b>Costo estimado</b>	<b>Factor de ponderación</b>	<b>Costo ponderado</b>
Patrimonio	11.47%	0.18	2.11%
Deuda	9.50%	0.82	7.75%
Total			9.86%

*Fuente: Elaboración propia.*

## **5.10 FLUJO DE CAJA**

En el flujo de caja se representan los beneficios proyectados por el funcionamiento del biodigestor, los costos para el funcionamiento del biogás, gastos financieros e inversiones iniciales que guardan relación con el análisis del proyecto.

Por medio de la Tabla 46, se incorpora el flujo de caja para diez años de vida del proyecto, también se podrá realizar la estimación de los índices de rentabilidad: tasa interna de rendimiento (TIR), valor anual neto (VAN) y relación beneficio costo (B/C).

## **5.11 INDICADORES DE RENTABILIDAD**

La evaluación del proyecto se hará determinando la TIR, VAN y relación beneficio costo, aplicando la fórmula financiera que ofrece Microsoft Office en la Hoja de Cálculo de Excel. Se consideró para realizar los cálculos financieros una tasa de descuento del 13%, la cual se maneja para los cálculos financieros de la granja Caluco.

Tabla 46 Flujo de caja del proyecto

<b>FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO</b>											
<b>Información del flujo de caja/Año</b>	<b>Año base</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
<b>SALDO INICIAL</b>	\$ 5,642.34	\$ 2,785.67	\$ 7,960.49	\$ 13,037.08	\$ 18,006.11	\$ 22,857.36	\$ 27,579.65	\$ 37,986.32	\$ 48,393.00	\$ 58,799.68	\$ 69,206.35
<b>+Beneficios energéticos</b>		\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97	\$ 17,164.97
<b>-Costos de funcionamiento</b>		\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 6,030.61	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40	\$ 3,289.40
<b>=Utilidad bruta</b>		\$ 11,134.36	\$ 11,134.36	\$ 11,134.36	\$ 11,134.36	\$ 11,134.36	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57
<b>-Gastos financieros/intereses</b>		\$ 2,375.00	\$ 1,982.09	\$ 1,551.85	\$ 1,080.74	\$ 564.87	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>=Total de gastos</b>		\$ 2,375.00	\$ 1,982.09	\$ 1,551.85	\$ 1,080.74	\$ 564.87	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>=Utilidad de operación</b>		\$ 8,759.36	\$ 9,152.27	\$ 9,582.51	\$ 10,053.62	\$ 10,569.49	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57	\$ 13,875.57
<b>-Impuesto sobre la renta (25%)</b>		\$ 2,189.84	\$ 2,288.07	\$ 2,395.63	\$ 2,513.41	\$ 2,642.37	\$ 3,468.89	\$ 3,468.89	\$ 3,468.89	\$ 3,468.89	\$ 3,468.89
<b>=Utilidad neta</b>		\$ 6,569.52	\$ 6,864.20	\$ 7,186.88	\$ 7,540.22	\$ 7,927.12	\$ 10,406.68	\$ 10,406.68	\$ 10,406.68	\$ 10,406.68	\$ 10,406.68
<b>+Depreciación del generador</b>		\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ 580.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>+Depreciación del biodigestor</b>		\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ 2,161.21	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FLUJO DE CAJA ECONÓMICO</b>	\$ 5,642.34	\$ 12,096.40	\$ 17,565.90	\$ 22,965.17	\$ 28,287.53	\$ 33,525.68	\$ 37,986.32	\$ 48,393.00	\$ 58,799.68	\$ 69,206.35	\$ 79,613.03
<b>INVERSIÓN</b>	\$ 27,856.67										
<b>FINANCIAMIENTO</b>											
<b>Préstamos recibidos</b>	\$ 25,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Pago de préstamos/ capital</b>	\$ -	\$ 4,135.91	\$ 4,528.82	\$ 4,959.06	\$ 5,430.17	\$ 5,946.04	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Total de financiamiento</b>	\$ 25,000.00	-\$ 4,135.91	-\$ 4,528.82	-\$ 4,959.06	-\$ 5,430.17	-\$ 5,946.04	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FLUJO DE CAJA FINANCIERO</b>	\$ 2,785.67	\$ 7,960.49	\$ 13,037.08	\$ 18,006.11	\$ 22,857.36	\$ 27,579.65	\$ 37,986.32	\$ 48,393.00	\$ 58,799.68	\$ 69,206.35	\$ 79,613.03

Fuente: Elaboración propia.

Para el año base, se posee un saldo inicial de \$5,642.34, la cantidad invertida con capital propio para el proyecto, se desembolsa \$27,856.67, lo que corresponde a la inversión inicial exento del 10% de imprevistos, los cuales pasan como saldo inicial para el Año 1. Los beneficios energéticos suman un total anual de \$17,164.97 mientras que los costos de funcionamiento varían de acuerdo al año de acuerdo a la tabla 42. Se aplica un impuesto sobre la renta del 25% a la utilidad de operación, con lo cual se obtiene el siguiente flujo de efectivo:

*Tabla 47 Indicadores de rentabilidad del proyecto de biodigestión*

<b>Tasa de descuento</b>	13%
--------------------------	-----

<b>INDICADORES DE RENTABILIDAD</b>											
<b>AÑO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Flujos de efectivo</b>	-\$ 30,642.34	\$ 7,960.49	\$13,037.08	\$18,006.11	\$22,857.36	\$27,579.65	\$37,986.32	\$48,393.00	\$58,799.68	\$69,206.35	\$79,613.03
<b>Factor de descuento</b>	\$ 1.00	\$ 1.13	\$ 1.28	\$ 1.44	\$ 1.63	\$ 1.84	\$ 2.08	\$ 2.35	\$ 2.66	\$ 3.00	\$ 3.39
<b>Flujos descontados</b>	-\$ 30,642.34	\$ 7,044.68	\$10,209.94	\$12,479.14	\$14,018.85	\$14,969.13	\$18,245.54	\$20,569.96	\$22,118.08	\$23,037.75	\$23,453.07

<b>TMAR</b>	9.86%
<b>TIR</b>	56.08%
<b>VAN</b>	\$135,503.78
<b>B/C</b>	5.42

*Fuente: Elaboración propia.*

Los índices para determinar la rentabilidad del proyecto fueron TMAR, TIR, VAN y análisis beneficio costo (B/C), en la Tabla 47 se muestran los resultados, por lo que podemos interpretar lo siguiente:

- La TMAR establece la rapidez con la que el valor del dinero disminuye en el tiempo. En el caso del proyecto, se obtiene que, la TMAR a considerar para el uso de los fondos propios es de 11.47%, sin embargo, para el préstamo se considera una tasa del 9.5%. Por lo tanto, al realizar la inversión con fondos propios, el valor del dinero disminuirá con un mayor interés al transcurrir el tiempo.
- La TIR es la tasa a la cual el Valor Actual Neto (VAN), matemáticamente es igual a cero. También es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Al evaluar la TIR, se obtiene un valor del 56%, verificando que es mayor a la tasa de descuento del 13% que posee la granja, por lo que el rendimiento del proyecto será mayor al mínimo fijado como aceptable y es económicamente rentable, por lo que de acuerdo al criterio de la TIR se aceptaría realizar el proyecto.
- El Valor Anual Neto es la diferencia entre todos los ingresos y egresos expresados a su valor actual, este criterio plantea que el proyecto debe aceptarse si el valor actual neto es igual o superior a cero. Por lo que, al obtener \$135,503.78 de resultado, puede aceptarse el proyecto.
- La relación (B/C), es un indicador que se obtiene como el cociente entre el valor actual de los beneficios brutos y el valor actual de los costos. El criterio de decisión consiste en que un proyecto es rentable en la medida que la razón B/C es mayor que uno, no es rentable si la razón B/C es menor que uno y es indiferente si B/C es igual a uno. En este proyecto verificamos que, por cada dólar invertido, se obtienen \$5.42, por lo que el proyecto generaría rentabilidad.

## **5.12 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO ECONÓMICO-FINANCIERO**

- El 52.13% de biogás producido por el biodigestor será utilizado como reemplazo de gas licuado de petróleo (GLP), con lo cual se cubre la demanda de combustible utilizado en cocinas, generando ahorros por \$ 9,993.70 anuales.
- El restante 47.87% de biogás será utilizado para cubrir parcialmente la demanda de energía eléctrica de la granja “Caluco”, se estima un ahorro de \$7,171.27 anuales de la facturación total.
- Los criterios TIR, VAN y relación B/C, calculados en el análisis financiero, concluyeron que la implementación de un biodigestor que ayude a la degradación de las excretas bovinas, generará rentabilidad económica, por lo que es viable el proyecto.



## 6 CONCLUSIONES GENERALES

En el presente estudio de prefactibilidad para instalar y poner en marcha el biodigestor de la planta lechera Caluco, se realizan las siguientes conclusiones:

1. En el capítulo de estudio de oferta y demanda, se seleccionó como herramienta una entrevista al propietario de la granja “Caluco”, quien indicó información útil de la cantidad de ganado bovino que posee la empresa y que permitió conocer los principales requerimientos energéticos de la granja que consisten principalmente en GLP y energía eléctrica. Pese a la variedad en la oferta de combustibles, el análisis realizado determinó que la demanda de éstos es elevada y deben buscarse alternativas disponibles para la sostenibilidad económica de la granja.
2. El proyecto será localizado en el municipio de Caluco y se dispone para la instalación del biodigestor un terreno de 1118 m<sup>2</sup>. Para la selección del tipo de biodigestor se consideraron las alternativas disponibles (biodigestor tipo chino, tipo hindú y tubular/horizontal) y se evaluaron factores relevantes tales como costo total del biodigestor, adecuación para climas tropicales y área rural, eficiencia en la producción de biogás, menor costo de mantenimiento preventivo y correctivo, requerimiento de mano de obra especializada y vida útil del biodigestor. Se seleccionó el biodigestor tipo tubular/ horizontal.
3. Las excretas del ganado producen un promedio de 3446.5 kg/día de biomasa, lo que significa que, en un tiempo de retención aproximado de 30 días, se obtendría una producción de biogás de 121.81 m<sup>3</sup>/día, a partir de las equivalencias energéticas del biogás con otros combustibles o energía recuperable de forma térmica o eléctrica, se estima que el biodigestor suplirá la demanda de GLP, no obstante, solamente suplirá una parte de la energía eléctrica de la planta.

4. En el análisis económico-financiero, se obtuvieron los indicadores de rentabilidad para el proyecto, la TMAR, TIR, VAN y relación B/C, los cuales se resumen en la Tabla 48, éstos indican que el proyecto generará rentabilidad a la empresa y por lo tanto es viable.

*Tabla 48 Cuadro resumen de los indicadores de rentabilidad del proyecto*

<b>RESUMEN DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD</b>	
<b>Indicador de rendimiento</b>	<b>Resultado</b>
TMAR	9.86%
TIR	56.08%
VAN	\$135,503.78
B/C	5.42

*Fuente: Elaboración propia.*

## 7 RECOMENDACIONES

Posterior al estudio de prefactibilidad para la generación de biogás en la planta lechera Caluco, se realizan las siguientes recomendaciones orientadas en su mayoría a la operación del biodigestor cuando se realice su puesta en práctica:

- Realizar el monitoreo de parámetros tales como pH, temperatura, DBO, OD, sólidos totales y volátiles, debido a que son factores que afectan la producción de biogás y deben de ser constantemente monitoreados y manipulados para obtener la mayor producción posible de biogás. Para acelerar el proceso de obtención de biogás se puede inocular el biodigestor mediante lodos activados que ya estén en fase metanogénica.
- Se sugiere evaluar distintas proporciones de agua y excretas para identificar la que proporciona el mayor contenido de materia orgánica, así como incrementar los tiempos de retención hidráulica más adecuados para la generación óptima de biogás. Estas estimaciones se realizan únicamente en la práctica, ya que cada proceso es diferente dependiendo de las variaciones en las condiciones climáticas principalmente, entre otros factores que interfieren en el proyecto.
- Para hacer el proceso lo más sostenible posible, se sugiere evaluar los parámetros como coliformes fecales y helmintos, nitrógeno, metales pesados y sólidos totales para establecer la calidad y determinar sus propiedades para su uso como agua para riego y biofertilizante.
- En caso de que el ganado se encuentre en tratamiento médico y se requiera antibióticos para el tratamiento, debe hacerse la separación para que las excretas del animal enfermo no alteren las condiciones óptimas para la generación de bacterias, ya que éstas son afectadas con antibióticos y medicamentos.

- Se recomienda seguir las instrucciones de los manuales de operación y mantenimiento para biodigestores, para no incurrir en prácticas que causen deterioro en el material y/o perforaciones que disminuyan considerablemente la vida útil de la inversión.
- Finalmente se recomienda la implementación de biodigestores para el tratamiento de desechos orgánicos en granjas como la de este estudio, debido a que, aunque se incurre a una gran inversión, ésta es cubierta por los ahorros energéticos del metano y, principalmente, los beneficios medioambientales resultantes del aprovechamiento energético reducen el efecto invernadero que los residuos producen cuando se vierten descontroladamente al medio ambiente.

## 8 ANEXOS

### 8.1. ENTREVISTA A PROPIETARIO DE LA GRANJA “CALUCO”

#### OBJETIVO:

Recopilar información sobre aspectos generales de la planta lechera, que servirán de insumo para la investigación.

1. ¿Hasta el día de ahora, con cuántas cabezas de ganado cuenta en su granja?  
Contamos con 504 vacas, 6 sementales y 20 terneros. Son 530 en total.
2. ¿Tiene planes de extenderse o diversificarse en la granja?  
En el tema de la diversificación, temporalmente no, dado que sería incursionar en nuevos negocios.
3. ¿Qué método implementa para la recolección del estiércol?  
En la actualidad no contamos con riego para abono o cultivos, tampoco se entierra, solo se procede a botarse en el río.
4. ¿Conoce usted sobre la producción y uso del biogás?  
Si, aunque poco sobre eso, tengo el conocimiento que es útil para la producción de energía eléctrica, aunque no tengo conocimiento de cómo producirlo.
5. ¿Qué conoce sobre la producción de biogás?  
Sé que se produce por la descomposición de la materia orgánica, es un gas natural, que todo ser vivo produce al descomponerse o morir.
6. ¿Cuenta usted con servicio de energía eléctrica en la granja?  
Actualmente sí.

7. ¿Las granjas que forman parte de la cooperativa, cuentan con el servicio de energía eléctrica?

Si, el año pasado se realizaron modernizaciones en las granjas y se mejoraron en un 60%, desde hace unos cuantos años ordeñamos con maquinaria, ya que requeríamos hacerlo a cada vaca tres veces diarias, lo que incrementa el uso de energía.

8. ¿Cuánto paga por el servicio de energía eléctrica?

La factura de energía eléctrica ronda los \$1,300.00 a \$1,400.00 dólares mensuales

9. ¿Se siente satisfecho con la calidad de servicio que presta su compañía eléctrica?

La verdad el servicio nos es de mucho beneficio, aunque no estamos satisfechos. Porque los costos que pagamos por el servicio es muy alto, y perjudica el costo de ordeñar a las vacas.

10. ¿Le gustaría producir su propia electricidad por medio de una planta de biogás?

Claro que sí, si hubiese alguna forma de poderlo hacer y disminuir los costos de la granja, sería beneficioso.

11. ¿Estaría dispuesto a invertir en un equipo para la producción de biogás?

La verdad cuando me hablan de gastar no me llama mucho la atención, pero si es factible hacerlo y el costo no es muy alto lo podría evaluar para hacerlo.

12. Si en su zona existiera una planta generadora de energía eléctrica que funcione con biogás, ¿Utilizaría usted esos servicios?

Sí, pero si esta asegura el buen funcionamiento de todas las instalaciones de la granja y su costo es menor que el usado actualmente.

13. ¿Qué dificultades relevantes encuentra en la creación del proyecto de generación de biogás?

La única dificultad que veo es el de inversión económica para su implantación y funcionamiento, y el espacio dentro de la granja, porque habría que adecuar el lugar donde se pondría.

14. ¿Considera que la implementación de tecnología como esta ayudaría al progreso de la granja?

Creo que sí. Con los altos precios de la energía eléctrica, puede convertirse en muy buena alternativa.

15. ¿En cuánto tiempo esperarías recuperar la inversión del proyecto?

El tiempo considero que estará en función de la inversión, si el proyecto es rentable habrá que hacer números y ver si invertir en una planta tiene sus beneficios en relación al pago del recibo de energía eléctrica.

16. ¿Cree usted que los costos de inversión y mantenimiento pueden ser un impedimento para este proyecto?

Creo que los costos son la llave para determinar la posibilidad de invertir o no en un generador de energía eléctrica. Esperamos que los costos no sobrepasen los \$60,000 para todo el proyecto.

17. ¿Además de la energía eléctrica, existe alguna demanda adicional de energía?

Por el momento sólo los cilindros de gas que se consumen en cocinas, duran un día los dos cilindros de 35 lbs.

## 8.2. FICHA TÉCNICA DE LA GEOMEMBRANA DE PVC

FICHA TÉCNICA – GEOMEMBRANA PVC	
PRODUCTO	GEOMEMBRANA PVC 1000 MICRAS
DESCRIPCIÓN	Lamina de PVC plastificada y aditivada con protectores U.V. y agentes microbicidas.
ESPECIFICACIONES	
GRAMAJE	1400 g/m <sup>2</sup> ±5%
ESPESOR	1000 micras ± 5%
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	ASTM D-882 Longitudinal: 9MPa Transversal 10 MPa
ALARGAMIENTO A LA ROTURA	ASTM D-882 Longitudinal: 2.40% Transversal 220%
RESISTENCIA AL RASGADO	ASTM D-1004 Longitudinal 50N Transversal 52N
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO	ASTM 2582 300 N
ESTABILIDAD DIMENSIONAL	ASTM 1204 A 110.°C durante 5 minutos es menor al 3%
VOLATILIDAD PERDIDA MÁXIMA	ASTM 1203 0.60%
RESISTENCIA HIDROSTÁTICA	ASTM D-794 110 psi
RESISTENCIA AL DESPEGUE EN EL SELLADO	ASTM D-413 2kg/cm <sup>2</sup>
TEMPERATURA DE TRABAJO	Máximo 70°C
RESISTENCIA QUÍMICA	Muy buena resistencia a: ácidos, bases metales pesados y petróleo crudo.
APLICACIONES	Impermeabilización de reservorios, rellenos sanitarios, biodigestores y obras civiles.

Figura 25 Ficha técnica geomembrana de PVC

Fuente: Quelal & Ullauri (2019)



### 8.3. PLANO ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE BIODIGESTIÓN GRANJA CALUCO

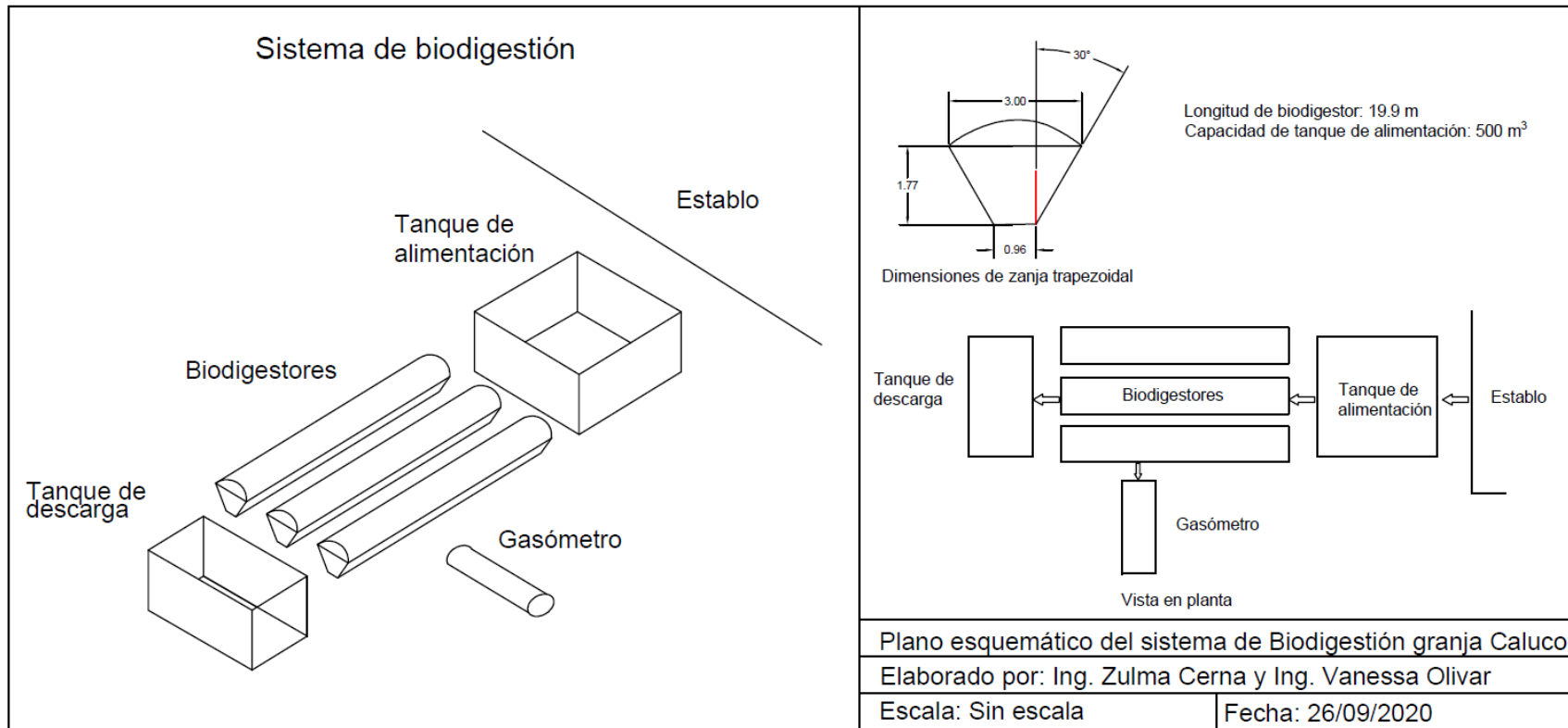


Figura 26 Plano esquemático del sistema de biodigestión de la granja Caluco

Fuente: Elaboración propia

## 8.4. TARIFAS GAS LICUADO DE PETRÓLEO

### 8.4.1. TARIFAS DE VENTA DE GLP PARA ENERO 2020

Variables	Presentaciones			
	35 Libras	25 Libras	20 Libras	10 Libras
Precio FOB	\$ 0.499131	\$ 0.499131	\$ 0.499131	\$ 0.499131
Flete de Importación	\$ 0.302198	\$ 0.302198	\$ 0.302198	\$ 0.302198
Costo de Descarga Buque	\$ 0.010900	\$ 0.010900	\$ 0.010900	\$ 0.010900
Costo de Operación Terminal	\$ 0.011900	\$ 0.011900	\$ 0.011900	\$ 0.011900
Margen total importador	\$ 0.220000	\$ 0.220000	\$ 0.220000	\$ 0.220000
<b>Precio de Paridad de Importación (PPI)</b>	<b>\$ 1.044129</b>	<b>\$ 1.044129</b>	<b>\$1.044129</b>	<b>\$1.044129</b>
Galones/Cilindro	8.17	5.84	4.67	2.34
Precio Base de La Estructura de Comercialización(PBEC)	\$8.533509	\$6.095364	\$4.876291	\$2.438145
Flete Interno Terrestre	\$0.526634	\$0.376540	\$0.301887	\$0.146482
Margen Envasador	\$1.315160	\$0.943400	\$0.750200	\$0.393646
Margen Distribuidor Minorista	\$1.315019	\$0.959860	\$0.805963	\$0.444804
Margen Tienda	\$0.424011	\$0.330420	\$0.295097	\$0.209160
<b>Precio de Venta al Público sin IVA</b>	<b>\$12.1143</b>	<b>\$8.7056</b>	<b>\$7.0294</b>	<b>\$3.6322</b>
IVA	\$1.57	\$1.13	\$0.91	\$0.47
<b>Precio de Venta al Público con IVA</b>	<b>\$13.69</b>	<b>\$9.84</b>	<b>\$7.94</b>	<b>\$4.10</b>

### 8.4.2. TARIFAS DE VENTA DE GLP PARA AGOSTO 2020

GOBIERNO DE EL SALVADOR		MINISTERIO DE ECONOMÍA		PRECIOS MÁXIMOS DE GAS AGOSTO 2020			
PARA ESTE MES EL SUBSIDIO DEL GAS SERÁ DE <b>\$5.00</b>							
35 LIBRAS	25 LIBRAS	20 LIBRAS	10 LIBRAS				
<b>\$13.69</b>	<b>\$9.84</b>	<b>\$7.94</b>	<b>\$4.10</b>				

## 8.5. PLIEGO TARIFARIO DE ELECTRICIDAD PARA ENERO 2020

II. MEDIANA DEMANDA (10 < kW ≤ 50)									
BAJA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.820072	0.958559	0.751491	0.873825	0.795431	2.281396	0.830061	0.886037
Cargo de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.153763	0.152749	0.153303	0.153199	0.152126	0.148488	0.144298	0.131729
Cargo de Distribución:									
Potencia	US\$/kW-mes	14.115286	21.650103	22.478056	27.053425	28.524170	30.306585	16.977625	19.925676
MEDIA TENSION CON MEDICIÓN DE POTENCIA									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.820072	0.958559	0.751491	0.873825	0.795431	2.281396	0.830061	0.886037
Cargo de Energía:									
Cargo Variable	US\$/kWh	0.142623	0.139710	0.141167	0.137937	0.137960	0.137087	0.137156	0.123277
Cargo de Distribución:									
Potencia	US\$/kW-mes	6.897177	6.807398	12.742309	17.364691	18.583652	9.432471	10.398888	5.133835
BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Atención al Cliente	US\$/Usuario-m	0.820072	0.958559	0.751491	0.873825	0.795431	2.281396	0.830061	0.886037
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.161105	0.162156	0.171810	0.175575	0.182910	0.156956	0.152466	0.130563
Energía en Resto	US\$/kWh	0.151266	0.148066	0.145956	0.145075	0.143318	0.146397	0.140503	0.122939
Energía en Valle	US\$/kWh	0.157906	0.159964	0.170651	0.174014	0.182336	0.151048	0.148187	0.133776
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	14.115286	21.650103	22.478056	27.053425	28.524170	30.306585	16.977625	19.925676
MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	0.820072	0.958559	0.751491	0.873825	0.795431	2.281396	0.830061	0.886037
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.149248	0.148437	0.156692	0.156560	0.162123	0.145669	0.144920	0.115388
Energía en Resto	US\$/kWh	0.140132	0.135539	0.133113	0.129363	0.127030	0.135870	0.133549	0.108650
Energía en Valle	US\$/kWh	0.146284	0.146431	0.155635	0.155168	0.161614	0.140187	0.140852	0.118228
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	6.897177	6.807398	12.742309	17.364691	18.583652	9.432471	10.398888	5.133835
III. GRANDES DEMANDAS (>50 kW)									
BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Atención al Cliente	US\$/Usuario-m	12.301090	14.378400	11.272361	13.107377	11.931460	18.784054	16.463460	6.808152
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.161105	0.162156	0.171810	0.175575	0.182910	0.156956	0.152466	0.130563
Energía en Resto	US\$/kWh	0.151266	0.148066	0.145956	0.145075	0.143318	0.146397	0.140503	0.122939
Energía en Valle	US\$/kWh	0.157906	0.159964	0.170651	0.174014	0.182336	0.151048	0.148187	0.133776
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	14.115286	21.650103	22.478056	27.053425	28.524170	30.306585	16.977625	19.925676
MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	12.301090	14.378400	11.272361	13.107377	11.931460	18.784054	16.463460	6.808152
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.149248	0.148437	0.156692	0.156560	0.162123	0.145669	0.144920	0.115388
Energía en Resto	US\$/kWh	0.140132	0.135539	0.133113	0.129363	0.127030	0.135870	0.133549	0.108650
Energía en Valle	US\$/kWh	0.146284	0.146431	0.155635	0.155168	0.161614	0.140187	0.140852	0.118228
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	6.897177	6.807398	12.742309	17.364691	18.583652	9.432471	10.398888	5.133835

## 8.6.FOTOS GRANJA CALUCO



*Figura 27 Recolección de los desechos generados en el establo*

*Fuente: Cortesía Granja Caluco*



*Figura 28 Ubicación del biodigestor*

*Fuente: Cortesía Granja Caluco*

## 8.7.NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS

	Porcentaje
%	
B/C	Relación Beneficio Costo
C/N	Relación Carbono Nitrógeno
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
cm	Centímetro (unidad de longitud)
CSTR	Biodigestor de mezcla completa o continuamente agitado
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DIGESTYC	Dirección General de Estadística y Censos
DQO	Demanda Química de Oxígeno
Ej.	Ejemplo
etc.	Etcétera
GLP	Gas licuado del petróleo
kcal	Kilocaloría (unidad de energía)
Kg/día	Kilogramo por día (medida de flujo másico)
Km	Kilómetro (unidad de longitud)
kW	Kilovatio (medida de potencia)
kW h	Kilovatio hora (unidad de energía)
L/s	Litro por segundo (medida de caudal)
lb	Libra (unidad de masa)
m <sup>3</sup>	Metro cúbico (unidad de volumen)
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
mbar	Milibar (Unidad de medida de presión)
MS	Masa seca
MW	Megavatio (medida de potencia)
OD	Oxígeno disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
ppm	Parte por millón (Unidad de medida de concentración)
PVC	Policloruro de vinilo

Q	Cantidad de biomasa disponible
S.A. de C.V.	Sociedad Anónima de Capital Variable
SNET	Servicio Nacional de Estudios Territoriales
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico
VAN	Valor Actual Neto

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- Baca Urbina, G. (1998). *Evaluación de proyectos*. México: Editorial Mc Graw Hill Interamericana. ISBN: 978-99954-0-339-3
- Castaneda, J., Escobar, O., & Torres, J. (2015). *Estudio de factibilidad para la instalación de una fábrica productora de concentrado bovino en la Asociación Agropecuaria Santa Rosa Guachipilín de Responsabilidad Limitada (Asaguachi De R.L.), Departamento de Santa Ana*. El Salvador; Universidad de El Salvador.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2019). *Estadísticas de producción de electricidad de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Datos preliminares a 2018*. Ciudad de México: LC/MEX/TS.2019/7.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2019). *Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador*. Ciudad de México: LC/MEX/TS.2019/26.
- Cordero, F., Rolín, M. & Callejas, E. (2013). “*Evaluación financiera del uso de gas licuado de petróleo (GLP) en empresas dedicadas al transporte de carga terrestre*” El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Corina Pérez, I., González, E., & Cárcamo, E. E. (2010). *Plan de negocio agro-ambiental “Lorena”*. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gitman, Lawrence J. (2007). *Principios de Administración Financiera*. México, Pearson educación. ISBN: 978-970-26-1014-4
- Hidalgo, J., Maravilla, V., & Ramírez, W. (2010). *Aprovechamiento energético del biogás en el Salvador. Trabajo de graduación*. El Salvador: Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”.
- J. Martí Herrero. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: GTZ Energía. ISBN: 978-99954-0-339-3



- Martí Herrero J. 2019. *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. Ecuador: Redbiolac. ISBN: 978-9942-36-276-6
- Medina, Z. I., & Luna, J. A. (2009). *Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano*, Honduras Escuela Agrícola Panamericana.
- Moncayo, G. (2020). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás*. Alemania: AquaLimpia Engineering e.k.
- Morales García, L. A., & Rodríguez Vargas, Á. D. (2017). *Estimación del Potencial Eléctrico del Biogás Obtenido de Biomasa Residual Bovina y Porcina*. Colombia: ZNI.
- PAHO (2002). *Notas técnicas sobre agua, saneamiento e higiene en emergencias*. Centroamérica y el Caribe.
- Quelal Chugá, K. A., & Ullauri Cueva, D. R. (2019). *Implementación de un biodigestor para la producción de biogás*. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Tevalán Sagastume, F. J. (2007). *Estudio de prefactibilidad para la implementación de una oficina de comercialización de ganado lechero de cría, en la asociación de criadores de ganado jersey de Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Varela, S., & Basil, G. (2011). *Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales*. Silvicultura en Vivero, Cuadernillo.
- Varnero, M. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile, Chile: FAO.
- WingChing-Jones, R., Pérez, R., & Salazar, E. (2008). *Condiciones ambientales y producción de leche de un hato de ganado Jersey en el trópico húmedo: el caso del Módulo Lechero-SDA/UCR*. Costa Rica: Revista de ciencias agrícolas.
- Zepeda González, D. (2013). *Diseño de planta de tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de biogás*. El Salvador: Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. ISBN: 978-99961-50-01-2