

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA CALEFACCIÓN DE
CERDOS DESTETADOS EN UNA GRANJA PORCINA**

JOSÉ ANTONIO RODRIGUEZ GUDIEL

Licenciado en Zootecnia

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2,016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS PARA LA CALEFACCIÓN DE CERDOS DESTETADOS EN
UNA GRANJA PORCINA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD

POR

JOSÉ ANTONIO RODRIGUEZ GUDIEL

Al conferírsele el título profesional de

Zootecnista

En el grado de Licenciado

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
JUNTA DIRECTIVA**

DECANO:	M.Sc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
SECRETARIA:	M.V. Blanca Josefina Zelaya Pineda
VOCAL I:	M.Sc. Juan José Prem González
VOCAL II:	Lic. Zoot. Edgar Amílcar García Pimentel
VOCAL III:	Lic. Zoot. Alex Rafael Salazar Melgar
VOCAL V:	Br. Javier Augusto Castro Vásquez

ASESORES

M.Sc. AXEL JHONNY GODOY DURÁN

LIC. ZOOT. BRAULIO RODOLFO GALICIA ROCA

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con lo establecido por reglamentos y normas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de graduación titulado:

VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA CALEFACCIÓN DE CERDOS DESTETADOS EN UNA GRANJA PORCINA

Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Como requisito previo a optar al título profesional de:

LICENCIADO EN ZOOTECNIA

ACTO QUE DEDICO A

- A DIOS:** Por estar siempre a mi lado bendiciéndome, dándome paciencia, sabiduría y fortaleza para aceptar cada situación de la vida.
- A MI MADRE:** **María Concepción Gudiel Morales (QEPD)** gracias eternamente por dedicar gran parte de su vida a mi superación.
- A MI ESPOSA:** **Gloria Esperanza Rivera**, gracias por ser mi apoyo incondicional por tu entrega, sacrificio y amor, en todo momento.
- A MIS HIJOS:** Que este triunfo sea un ejemplo de que todo se puede lograr y que esto los motive a superarme, en especial a José Angel mi mayor motivación.
- A MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO:** Por todos los momentos compartidos. Gracias por siempre apoyarme en esta etapa de mi vida en especial a Nelson, Guillermo, Rodolfo, José Carlos, miteco, y Max.
- A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:** Ailyn, Luis, Anibal, Nestor, Nelson.
- A TODOS MIS AMIGOS:** En especial a David Valdéz, Carlos Ordoñez, Marco Vinicio de la Rosa, Eduardo Mendizábal, Carlos Oseida, Marco Mérida, Manuel Delgadillo, Sender, Marvin y Otto Franco.

AGRADECIMIENTOS

- A:** Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por ser mi casa de estudios.
- A:** personal docente, administrativo y de servicio de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- A:** Mis asesores MSc. Axel Godoy, Lic. Rodolfo Galicia por todo el apoyo y comprensión, para realizar esta investigación.
- A:** Mis catedráticos por toda la enseñanza brindada a lo largo de la carrera.
- A:** Biotectura Agropecuaria por la asesoría brindada para este proyecto.
- A:** Personal administrativo y operativo de la unidad productiva donde se desarrolló este trabajo, por todas las facilidades proporcionadas.
- A:** Todas aquellas personas que de forma directa o indirecta me brindaron su ayuda en la realización de este trabajo.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	2
	2.1 Objetivo General.....	2
	2.2 Objetivos Específicos.....	2
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
	3.1 Marco legal e institucional de las fuentes renovables de energía...	3
	3.2 Energía limpia a través del uso de biogestores y su importancia...	4
	3.3 Protección al ambiente.....	5
	3.4 Beneficios de los biodigestores.....	6
	3.5 El biogás.....	7
	3.5.1 Propiedades del biogás.....	7
	3.6 Desventajas de los biodigestores.....	7
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	8
	4.1 Localización.....	8
	4.1.1 Material biológico.....	8
	4.1.2 Material físico y equipo.....	8
	4.2 Metodología.....	9
	4.2.1 Viabilidad técnica.....	9
	4.2.1.1 Biogás.....	9
	4.2.1.2 Área de destete.....	10
	4.2.1.3 Viabilidad económica.....	11
	4.3 Descripción del modelo de biodigestor utilizado.....	12
	4.3.1 Forma de captación y almacenamiento del biogás.....	12
	4.3.2 Distribución del gas hacia el área de destete.....	13
	4.3.3 Número de calefactores existentes, cantidad potencial a utilizar su ubicación actual.....	14
	4.3.4 Modelo de calefactora BAR15.....	17

4.3.5	Costos del sistema.....	19
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5.1	Suministro uniforme de biogás.....	20
5.1.1	Diámetro de calefacción.....	20
5.1.2	Temperatura que generan las calefactoras.....	20
5.1.3	Registros de mortalidad.....	23
5.2	Viabilidad económica.....	24
5.2.1	Análisis de costos de la tecnología de biogestores para la calefacción de lechones destetados.....	24
VI.	CONCLUSIONES.....	26
VII.	RECOMENDACIONES.....	27
VIII.	RESUMEN.....	28
	SUMMARY.....	30
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
X.	ANEXOS.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No. 1

Costo del sistema completo desde la colecta, producción, conducción y combustión del biogás.....19

Cuadro No. 2

Diámetro de calefacción BAR15.....34

Cuadro No. 3

Temperaturas que generan las calefactoras.....22

Cuadro No. 4

Mortalidad en el área de destete año 2012.....23

Cuadro No. 5

Registro de mortalidad en el área de destete año 2013.....24

Cuadro No. 6

Cuadro comparativo de análisis de costos utilizando la tecnología de biogestores Vs. focos infrarrojos (valores expresados en quetzales).....25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.1	
Calefactoras seleccionadas en el área de destete.....	11
Figura No. 2	
Captación y almacenamiento del biogás.....	13
Figura No. 3	
Distribución del biogás hacia el área de destete.....	14
Figura No. 4	
Número de calefactoras artesanales y su ubicación en el área de destete.....	14
Figura No. 5	
Caracterización del sistema de producción de biogás dentro de la unidad productiva.....	16
Figura No. 6	
Vista longitudinal de biogestor instalado en granja.....	16
Figura No. 7	
Planta de biogestores instalados en granja.....	17
Figura No. 8	
Modelo de calefactora BAR15 y sus componentes.....	18
Figura No. 9	
Uso de la calefactora de biogás dentro de las jaulas de destete.....	36
Figura No. 10	
Parte baja de la calefactora.....	36
Figura No. 11	
Toma de datos de temperatura por personal de granja.....	37

Figura No. 12

Vista de calefacción utilizada con cerdos destetados.....37

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que enfrentan las granjas porcinas es el manejo de las excretas, ya que se producen en gran cantidad y deben ser retiradas diariamente de las instalaciones donde se alojan los cerdos. Aun cuando los biodigestores presentan soluciones en el manejo de las excretas en Guatemala, la tecnología no ha sido diseminada y los biodigestores que están operando no se utilizan correctamente.

La tecnología de los biodigestores es una herramienta que puede adoptarse ya que le proporciona valor agregado a los desechos generados por la industria agropecuaria y ayuda a mitigar los efectos del cambio climático así como a mejorar el bienestar animal, lo cual incide directamente en los parámetros productivos y reproductivos. Los biodigestores son un medio de tratamiento de las excretas de animales y de otros tipos de desechos orgánicos utilizando un proceso de digestión anaeróbica. Los biodigestores tubulares plásticos por sus características constructivas y por su bajo costo son una alternativa para integrar las excretas y otros residuos orgánicos de la granja a los sistemas de producción, ya que normalmente éstos se pierden, se mal utilizan o se convierten en contaminantes del ambiente.

De tal manera, que el tratamiento de estas deyecciones puede realizarse a través de la biodigestión anaeróbica, que permite valorizar un producto energético, el biogás. Este trabajo tiene como objetivo evaluar un sistema de aprovechamiento del estiércol porcino mediante el uso del biodigestor para producción de biogás utilizado en la calefacción del área de destete, así mismo la viabilidad económica del proceso planteado.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Generar información acerca de la viabilidad técnica y económica del biogás producido utilizando los efluentes provenientes del separador de sólidos, para su uso en una granja porcina.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la viabilidad técnica del uso del biodigestor con el sistema establecido en la granja, en términos de suministro uniforme de biogás y mortalidad en el área de destete.
- Determinar la viabilidad económica de utilizar calefactoras artesanales de biogás para la calefacción de cerdos destetados a través del análisis de costos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

Guatemala es un país que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales de tipo renovable, los cuales tienen alto potencial energético. La fuente energética de mayor demanda y uso en el país es la leña; se estima que la cobertura forestal del país alcanza los 37.000 km², o sea, un 34% de la superficie nacional, con una tasa de deforestación de 2,1% anual. En Guatemala se utiliza la biomasa en diversas formas, tal es el caso de la leña, cogeneración con bagazo de caña, biodigestión y otras. La única fuente biomásica que se ha utilizado para la producción de energía eléctrica en Guatemala, ha sido el bagazo de caña de azúcar. (4)

3.1 Marco legal e institucional de las fuentes renovables de energía

Muchos de los recursos naturales que tiene el país han sido aprovechados a través de la historia, pero a principios de la década de 1970 se empezó a tratar de aprovecharlos a un nivel generalizado. Desde entonces se ha impulsado el aprovechamiento de: energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y la biodigestión anaeróbica para la producción de biogás como combustible.

La Dirección de Planificación y Desarrollo Energético es la Dependencia del Ministerio de Energía y Minas que tiene a su cargo el estudio, fomento, control, supervisión y fiscalización de todo lo relacionado con fuentes renovables de energía. En el año de 1986, debido a la crisis energética que afectaba “y afecta” al país, agudizada por la dependencia de productos petroleros importados, el gobierno de la República se encontró en la necesidad de crear una ley que promoviera el uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Debido a lo anterior durante 1986 se publicó el Decreto Ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, el cual declara de utilidad y necesidad pública la implantación de políticas energéticas

encaminadas a promover el desarrollo, promoción y uso eficiente de las fuentes nuevas y renovables de energía.

El Decreto Ley 20-86 constituye un instrumento a través del cual se impulsa y coordina la acción de los ejecutores de proyectos de desarrollo y aprovechamiento de los recursos renovables, como son: la radiación solar, el viento, el agua, la biomasa y cualquier otra fuente energética que no sea la nuclear ni la producción por hidrocarburos. Beneficia a los titulares de proyectos a través de incentivos fiscales. (4)

3.2 Energía limpia a través del uso de biodigestores y su importancia

Un biodigestor es un ente viviente conformado por millones de microorganismos que en forma anaeróbica y a través de su digestión producen biogás que es un compuesto de varios ácidos volátiles entre ellos el metano que al combustionar es una excelente fuente energética y calorífica, es necesario utilizar un depósito para almacenar de forma controlada y favorecer este proceso.

El biodigestor es un depósito completamente cerrado anaeróbico, donde el estiércol de los animales o de desechos humanos se fermenta sin oxígeno, para producir biogás, y un sobrante o líquido espeso que sirve como abono.

El gas que produce es menos peligroso que el propano. El fenómeno de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal, que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH₄) llamado biogás.

Todo esto haciendo uso de los residuos que causarían de otra manera contaminación. Todos los nutrientes tales como el nitrógeno, fosforo y potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente.

En los últimos años el biodigestor ha tomado una creciente importancia en nuestro medio, lamentablemente seguimos vertiendo los desperdicios a los ríos, contaminando no solamente este cuerpo hídrico sino también los lugares de depósito final, como son los lagos, lagunas, el mar y hasta los mantos freáticos de aguas subterráneas. (3)

El aprovechamiento integral de los recursos rurales disponibles es una de las estrategias buscadas para mantener la estabilidad y sustentabilidad de los sistemas de producción. Para esto, se hace necesario disminuir o eliminar la polución generada por los medios de producción.

Los resultados de experimentos sobre tratamiento de residuos orgánicos generados por la agroindustria porcina, se deben analizar económicamente de modo que las empresas puedan seleccionar los procedimientos y estrategias productivas y ambientales más adecuadas. (5)

3.3 Protección al ambiente

La utilización de biodigestores para el tratamiento de excretas reduce la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles las excretas de origen animal, aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque. Dichas excretas contienen microorganismos patógenos, larvas, huevos de invertebrados que de otro modo podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas. Reduce el problema de olores generado por el almacenamiento de estiércol en la granja, se reduce la emisión de gases que provocan el efecto invernadero, el metano contamina 25 veces más

que el dióxido de carbono, al quemarlo se produce CO₂, también ayuda a la disminución de emisión de CO₂. (9)

La ganadería es una de las actividades que han contaminado a la atmósfera por la emisión de grandes cantidades de metano, un gas de efecto invernadero que absorbe 25 veces más calor que el dióxido de carbono, contribuyendo al calentamiento global. El metano que generan las excretas animales es también un combustible que se puede aprovechar para uso doméstico como calentamiento de agua y alumbrado, este gas se puede producir en condiciones anaerobias en un dispositivo conocido como biodigestor. (9)

Un biodigestor consta de un recinto hermético carente de oxígeno dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar, mezclado en una determinada proporción con agua. Puede estar equipado con un dispositivo para captar y almacenar el biogás y otro para cargar y descargar la materia orgánica de las excretas, esta es la forma más simple del biodigestor, pero pueden incluirse otros equipos para mayor control del proceso.

3.4 Beneficios de los biodigestores

Con el uso de los biodigestores para el tratamiento de las excretas de los animales de la granja básicamente se obtienen dos beneficios: El primero se relaciona con la obtención del biogás para la quema combustión o energía calorífica. El otro beneficio que aportan los biodigestores es la obtención de abono orgánico ó bioabono líquido. (11)

3.5 El biogás

3.5.1 Propiedades del biogás

El biogás es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de alrededor de los 700° C. (Diesel, 350 y propano cerca de los 500), la temperatura de la llama alcanza 870° C.

La composición de gas es de 60-75% de CH₄, de 25 a 40% de CO₂, H₂S y otros elementos menores volátiles. Cuanto más largo es el tiempo de retención, más alto es el contenido de metano y con esto el poder calorífico, con tiempos de retención cortos, el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%, con un contenido de metano menor del 50% el biogás deja de ser inflamable.

Para las lámparas a biogás el ambiente donde se las utilice debe estar adecuadamente ventilado para disipar el calor que generan. (7)

3.6 Desventajas de los biodigestores

Entre las desventajas del proceso de biodigestión, está el carácter líquido del material orgánico obtenido en este tipo de biodegradación, lo que trae como consecuencia en la aplicación, la pérdida por lixiviación de algunos de sus componentes. Además es necesario tener un suelo húmedo para hacer la aplicación del efluente porque si el suelo está seco existe gran pérdida por volatilización. Por otra parte el gas metano, principal componente del biogás al ser lanzado a la atmósfera causa el efecto invernadero. (8)

Es importante que cambien por lo menos tres veces por año el filtro carbón activado y viruta metálica. (8)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El presente estudio se llevó a cabo en una granja privada, dedicada a la producción de cerdos, productos lácteos, aguacate y hierbas aromáticas, ubicada en el camino que conduce a la aldea el rejón del Municipio de Sumpango del Departamento de Sacatepéquez, dista a 48 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala por la carretera Interamericana con una temperatura máxima de 25° y una mínima de 15°, humedad relativa del 75%, ubicada a una altitud de 1900 msnm, se encuentra en la Zona de Vida Bosque Húmedo Montano sub-tropical (2) la unidad productiva se encuentra ubicada geo posicionalmente a N14.642178 W 90.721152.

4.1.1 Material biológico

- Cerdaza.
- Cerdos destetados.

4.1.2 Material físico y equipo

- Instalaciones de cerdos.
- Tubería de conducción de gas.
- Biodigestores de concreto.
- Reservorios tipo salchicha.
- Planta de separación de sólidos.
- Tubería de conducción de sólidos y líquidos.
- Calefactoras artesanales modelo BA-R15.
- Libretas de los encargados.
- Registros de mortalidad del área de destete durante los años 2,012 y 2,013.

4.2 Metodología

El presente estudio se ejecutó en un periodo total de 3 meses dentro de los cuales se hicieron las evaluaciones técnicas y económicas para cumplir con los objetivos propuestos. Recolectando datos de campo sobre la temperatura generada en las calefactoras y el diámetro de calefacción además de datos históricos correspondientes a los registros de mortalidad de los años 2012 y 2013 en el área de destete, años seguidos a la implementación del sistema de biodigestión y combustión. Así mismo los registros de costos totales en el momento de la implementación del sistema.

4.2.1 Viabilidad técnica

Para determinar la viabilidad técnica, se registraron los siguientes indicadores:

4.2.1.1 Biogás

- Forma de captación y almacenamiento del biogás

Se midieron los biodigestores para determinar la capacidad expresada en metros cúbicos de material, además se cubicaron las bolsas de polietileno tipo salchicha donde se almacena el biogás para reconocer su capacidad en metros cúbicos.

- Distribución de gas hacia el área de destete

Se realizó un croquis para ejemplificar como el biogás llega a cada una de las calefactoras artesanales dentro del área de destete.

- Número de calefactoras artesanales existentes y cantidad potencial a utilizar con el biogás producido para poder alimentar a más lámparas modelo BA- R15.

4.2.1.2 Área de destete

- Ubicación de las calefactoras artesanales a base de biogás:

Se realizó un diagrama para reconocer cual es la ubicación actual de las calefactoras.

- Caracterización del sistema de producción de biogás:

Se realizó un diagrama general del sistema que permite la producción y el aprovechamiento del biogás desde la colecta de las heces hasta la combustión.

- Caracterización de calefactoras artesanales:

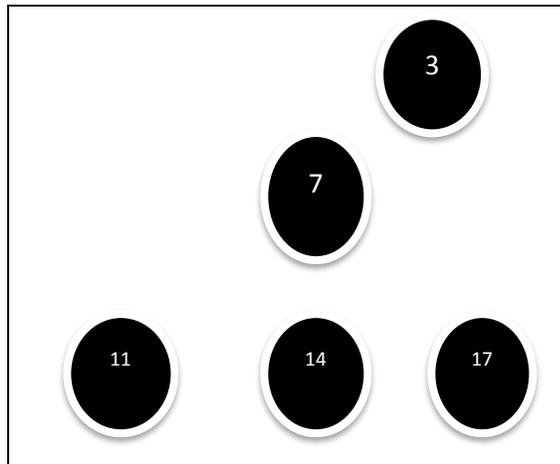
Se realizó un diagrama en el que se ejemplificó el modelo de calefactora BAR15.

- Diámetro de calefacción

Se midió la distancia hasta la cual la temperatura se mantenía constante. Se midió durante 08 semanas 1 vez por semana en 5 calefactoras.

Previo a proceder a realizar las mediciones se realizó la selección de la muestra como sugieren Pineda y Alvarado (2008) (9), observando en la figura No.1 dicha selección:

Figura No. 1 Calefactoras seleccionadas en el área de destete



Cantidad total de calefactoras BAR15:
17
Tamaño de la muestra 30%
representatividad: 5
Número de selección: $17/5 = 3.4$
Definir el orden numérico de las
caleafactoras: 3,7,11,14,17

Fuente: elaboración propia

- Temperatura que generan las calefactoras

Se midió la temperatura durante 08 semanas 1 vez por semana en 5 calefactoras.

- Comparación de la variable de mortalidad

En base a los registros existentes en la granja del sistema utilizando calefactoras (BAR15) a biogás para los años 2012 y 2013 cuando ya estaba implementado el sistema.

4.2.1.3 Viabilidad económica

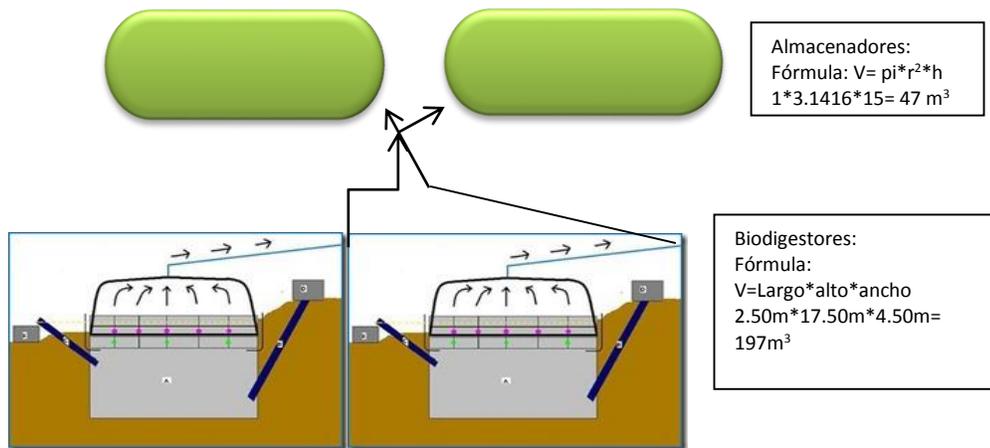
- Se determinó la manera en que influyó en los costos de la granja la sustitución de focos infrarrojos utilizando energía eléctrica por calefactoras artesanales a partir de los registros existentes en la granja.
- Para la evaluación económica se utilizó el análisis de costos.

4.3 Descripción del modelo de biodigestor utilizado

4.3.1 Forma de captación y almacenamiento del biogás

Luego del proceso de biodigestión, el gas producto de esta sube por medio de una tubería, como observamos en la figura No.2 hacia dos tanques almacenadores mediante una llave bypass que se encarga de conducir el biogás para cada uno de los almacenadores estos son conocidos como almacenadores tipo salchicha fabricados con material de geo membrana, la capacidad de cada uno es de 47 metros cúbicos, se cuenta con dos haciendo un total de 94m³. Los biodigestores tienen una capacidad instalada de 197 m³ cada uno y son dos haciendo un total de 394 m³. Es importante mencionar que la producción de biogás es continua y por lo tanto los tanques almacenadores nunca se encuentran vacíos esto permite que las calefactoras se mantengan funcionando las 24 horas del día, actualmente se encuentran fabricando otro tanque de almacenamiento que servirá para alimentar la combustión en otra área de la granja ya que se cuenta con suficiente producción de biogás observado en la válvula de seguridad. Estos almacenadores son los que actualmente están siendo utilizados como biodigestores en el área rural llenándolos a la mitad y la otra mitad forma la cámara de gas.

Figura No. 2 Captación y almacenamiento del biogás



Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Distribución del gas hacia el área de destete

En la figura No.3 se ejemplifica como el biogás partiendo de los almacenadores llega hacia el área de destete, cuando el biogás se encuentra en los tanques almacenadores se abren las llaves de paso para que este fluya hacia las calefactoras, la tubería de conducción se encuentra debajo de la tierra para que no obstruya la actividad normal de la granja formando un gasoducto a pequeña escala. Antes de que el gas ingrese a las instalaciones existe una llave de paso general esto es importante porque permite hacer trabajos sin inconvenientes de la combustión. Existe además una diferencia de alrededor de 5 metros entre la altura a la que se encuentra el tanque almacenador y el área de destete que está más alta, lo que mejora la fluidez del biogás sin necesidad de utilizar bombas capacitadoras.

Figura No. 3 Distribución del biogás hacia el área de destete

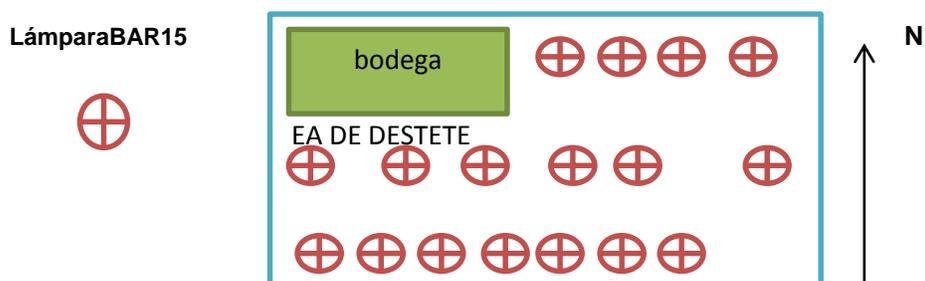


Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Número de calefactoras existentes, cantidad potencial a utilizar y su ubicación actual

En este sentido podemos observar en la figura No.4 que existen dentro del área de destete un total de 17 calefactoras que cubren el 100% del área. Cuando el total de las calefactoras están funcionando los tanques de almacenamiento se mantienen a su máxima capacidad por lo que al momento en que se necesite de parte del propietario el construir un anexo no habría problema en duplicar la cantidad de calefactoras, además está en construcción un área para comedor y este ya cuenta con un tanque almacenador con la misma capacidad de biogás y este permanece totalmente lleno sin que los tanques almacenadores originales se encuentren desabastecidos, otro aspecto que refuerza la posibilidad de aumentar el número de calefactoras.

Figura No. 4 Número de calefactoras artesanales y su ubicación en el área de destete

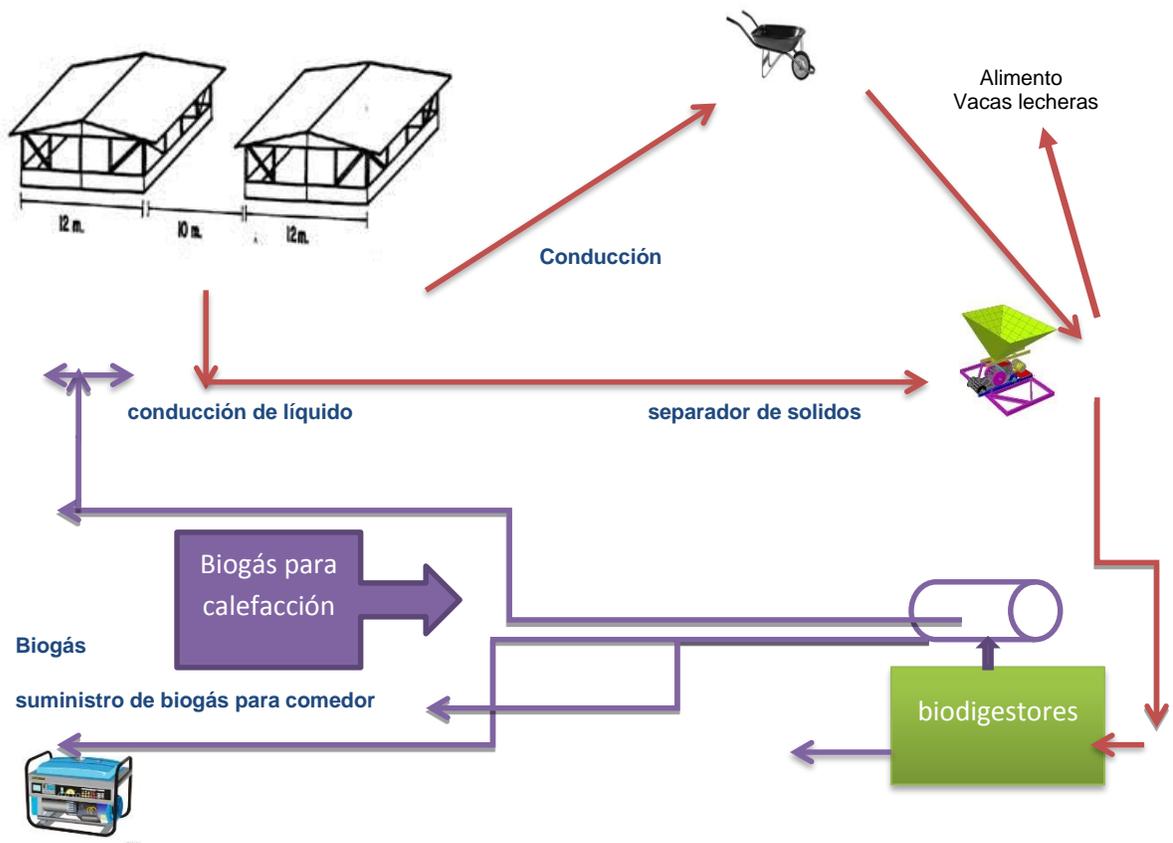


Fuente: Elaboración propia

En la figura No. 5 se puede observar cómo se lleva a cabo la producción de biogás, se evidencia que la parte sólida de los residuos es llevada a mano con carreta y la parte líquida se transporta por gravedad hacia el mismo colector que luego es succionado por un motor colocado dentro del separador de sólidos, una parte compuesta por residuos sólidos ya separados es llevada a las instalaciones de alimentación del ganado de forma manual y la otra parte semilíquida se conduce mediante tubería de PVC hacia los biodigestores donde se lleva a cabo el trabajo de las bacterias.

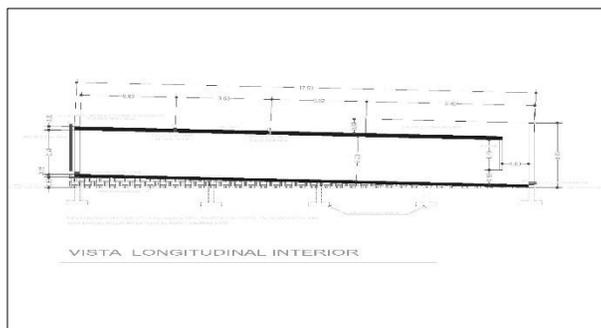
Además podemos observar en las figuras 6 y 7 las medidas de cada uno de los biodigestores y su planta de cimentación, estos biodigestores permiten el funcionamiento del sistema pero si la granja va a aumentar el tamaño de su hato se tendrá que construir otro biodigestor para aprovechar mejor los residuos.

Figura No. 5 Caracterización del sistema de producción de biogás dentro de la unidad productiva



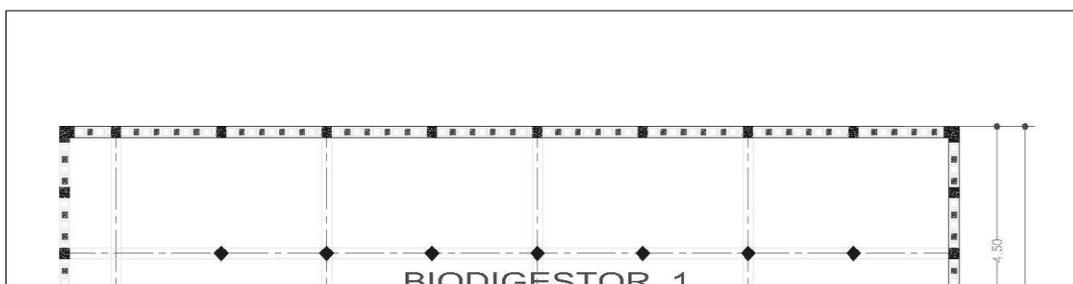
Fuente: Elaboración propia

Figura No.6. Vista longitudinal de biodigestor instalado en granja



Fuente: Archivos de granja

Figura No.7 Planta de biodigestores instalados en granja



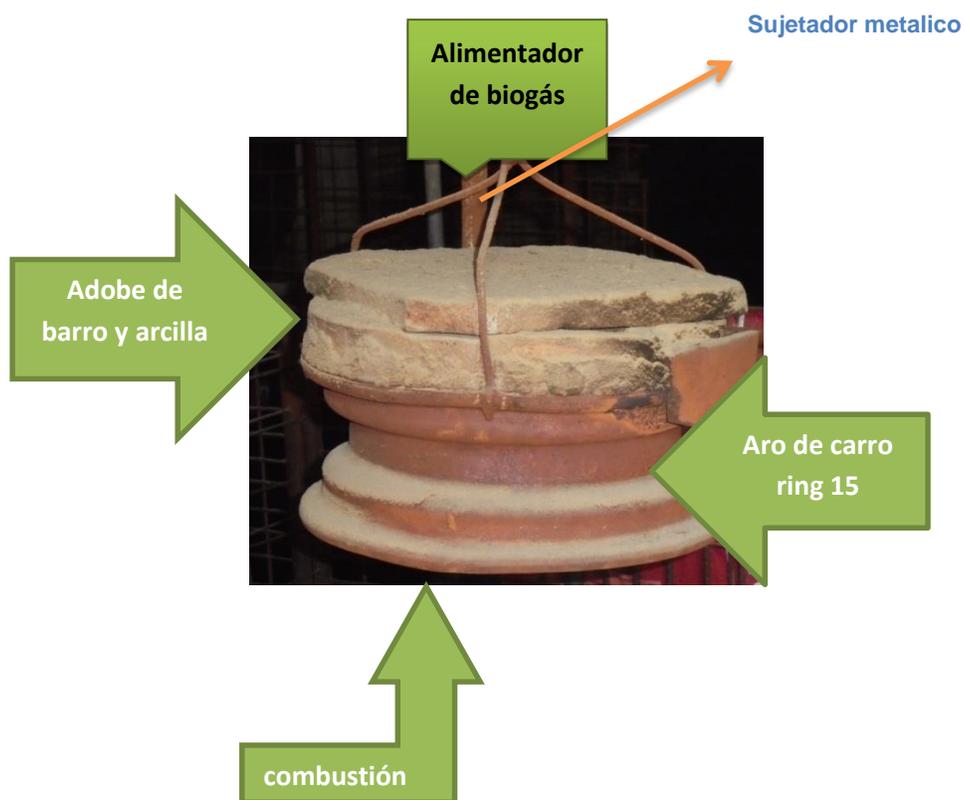
Fuente: Archivos de granja

4.3.4 Modelo de calefactora BAR15

En la figura No. 8 se describe cada una de las partes que forman la calefactora BAR15 (**BA**= nombre del fabricante Biotectura Agropecuaria, **R15**= número del rin del aro de carro utilizado) esta cuenta con un alimentador de gas que proviene de la tubería central, este alimentador es de tubo galvanizado y está soldado al aro de carro, este aro es de un material tan resistente que no permite la corrosión provocada por el ácido, solamente permite la formación de ceniza alrededor de las áreas que anteriormente eran usadas para sujetar la llanta. Además cuenta con un sujetador metálico soldado en tres o cuatro puntos del aro, este es el elemento que se usa como sostén y a la vez por aquí es que

se gradúa la altura de la calefactora, por otra parte también cuenta con ladrillos de adobe y arcilla estos son pegados con una mezcla creada en la misma granja. El aro de llanta permite que el calor emanado en la punta del alimentador rebote en él y se distribuya hacia los lechones. Las criadoras son equipos robustos de poco mantenimiento, caso contrario de las lámparas eléctricas, en las que los bombillos tienden a quemarse con frecuencia, teniendo una vida útil de 1000 horas.

Figura No. 8 Modelo de calefactora BAR15 y sus componentes



Fuente: Elaboración propia

4.3.5 Costos del sistema

En el cuadro No. 1 se ejemplifica el costo total de los almacenadores de biogás que asciende a un total de Q.26,810.00 quetzales esto cubre la mano de obra y los accesorios para el armado de los dos reservorios. Inicialmente la granja realizó algunos trabajos de adecuación y la base donde descansarán dichos reservorios. En el mismo cuadro también se observa la inversión total del proyecto para ponerlo en marcha la cual asciende a Q.850,000.00 incluyendo los accesorios y la mano de obra de todo el sistema de biodigestión desde la colecta hasta la combustión del biogás en la calefactoras. La vida útil de este proyecto está calculada para 20 años tomando en cuenta la Ley del Impuesto Sobre la Renta vigente. Este dato fue proporcionado por el propietario de la unidad productiva y es la suma total de los costos y gastos generados por el proyecto. Cabe mencionar que estos costos también incluyen la adecuación de toda el área de destete, el revestimiento de los biodigestores que están hechos de block y cemento con fundiciones en la base y columnas para sostener la presión dentro de los biodigestores. Como ingresos adicionales del sistema se tiene la producción de biolíquido y el suministro de biogás hacia el comedor.

Cuadro No. 1 Costo del sistema completo desde la colecta, producción, conducción y combustión del biogás

Costo de almacenadores	Q. 26,810.00
inversión biodigestor, sistema de conducción y calefactoras BAR15	Q.823,190.00
Total	Q.850,000.00

Fuente: Registros de granja.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Suministro uniforme de biogás

El suministro se mantuvo uniforme ya que las calefactoras se mantuvieron funcionando cuando se determinó el diámetro de calefacción y las temperaturas generadas.

5.1.1 Diámetro de calefacción

En el cuadro No. 2 se puede observar el diámetro de calefacción que presenta la "BAR15" que es en promedio de 0.75m, este dato se obtuvo luego de medir el calor mantenido en las calefactoras hasta esta distancia, además en el cuadro No.2 están anotados los registros de los diámetros que se tomaron una vez por semana durante 8 semanas, en el área de destete existen 17 calefactoras y se tomó una muestra de 5 debido a que estas representan el 30% del total además la investigación se realizó en un ambiente homogéneo ya que este porcentaje es el recomendado para no caer en la categoría de muestra pequeña (9). Los lechones se encuentran luego de alimentarse en posición decúbito lateral uno a la par de otro y no en posición ventral lo que indica que están recibiendo la cantidad necesaria de calor.

5.1.2 Temperatura que generan las calefactoras

Como podemos observar en el cuadro No. 3 los registros de temperatura tomados durante los meses de diciembre y enero se encuentran por encima de las recomendaciones en la zona de confort térmico que va de 28 a 32 (6), en promedio se obtuvo un registro de 36.5°C, pero todas las calefactoras tienen un sujetador metálico por medio del cual se puede graduar la altura para disminuir la temperatura en el microclima de los corrales, tomado en diferentes puntos de las instalaciones, según la selección de la muestra, están anotados los registros de la temperatura que generan las BAR15, se tomaron una vez por semana

durante 8 semanas que duró el experimento, en el área de destete existen 17 calefactoras y se tomó una muestra de 5 debido a que estas representan el 30% del total, además la investigación se realizó en un ambiente homogéneo ya que este porcentaje es el recomendado para no caer en la categoría de muestra pequeña (9). Como dato adicional a tomar en cuenta es que fuera de la galera existió en el momento de la toma en las semanas 7 y 8 una temperatura de 20°C.

En otro estudio (datos proporcionados en granja) en el cual la temperatura ambiente fuera de la galera se mantuvo por debajo de los 30°C durante el experimento con un promedio de 22°C, eso mismo ocurrió con la temperatura a lo interno de la galera aún con el uso de cortinas de protección, manteniendo una temperatura promedio de 23°C. Esto es un indicador de la necesidad del uso de alguna fuente de calefacción para mantener a los lechones a una temperatura mínima de 30°C.

El lugar en donde se instaló la criadora con biogás logró mantener una temperatura promedio de 35°C. Esto igualmente sucedió en este experimento manteniendo los valores de temperatura uniformes dentro de las jaulas aunque dentro de la caseta la temperatura disminuyera el microclima que se genera en el área ocupada por los cerdos no se ve afectado.

Los cerdos dentro del experimento están dentro de su zona de confort ya que descansaban sobre sus flancos sin establecer contacto con sus compañeros.

Cuadro No. 3 Temperaturas que generan las calefactoras

Semana	Muestra	Temperatura°C
	1	36.0
	2	36.0
Semana 1	3	36.5
	4	35.1
	5	36.7
	1	35.3
	2	37.2
Semana 2	3	35.4
	4	36.8
	5	36.5
	1	37.7
	2	34.5
Semana 3	3	35.3
	4	36.1
	5	36.1
	1	37.2
	2	36.4
Semana 4	3	37.2
	4	36.0
	5	37.2
	1	37.0
	2	37.0
Semana 5	3	36.3
	4	36.1
	5	37.0
	1	37.6
	2	37.2
Semana 6	3	37.1
	4	36.1
	5	37.7
	1	36.0
	2	36.2
Semana 7	3	37.4
	4	36.5
	5	36.2
	1	36.3
	2	36.0
Semana 8	3	37.3
	4	37.2
	5	37.1
	Total	1460.5
	Media	36.5°C

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Registros de mortalidad

Sánchez (2005) (10) reporta que una mortalidad aceptable no debe ser mayor del 2% en cerdos post destete, únicamente que por el valor del porcentaje más se refiere al tiempo de finalización, pero Giménez (2012) (6) afirma que una vez destetados, los lechones son reagrupados en lotes homogéneos. Los efectos del destete son tremendos para el lechón debido tanto al cambio de alimentación, como al cambio de ambiente. Por estos motivos, es habitual una mortalidad del 10-15% de los lechones tras el destete, por lo que el promedio de mortalidad que se reporta basado en los registros de granja observados en los cuadros No. 4 y 5 teniendo una media general de 4.26%, se encuentra por debajo de este porcentaje, sobre todo que se obtuvieron cuando ya estaba implementado el sistema de calefactoras a biogás. Estos resultados coinciden con lo reportado por Arriaza (2008) (1), cuando afirma que el porcentaje de mortalidad de lechones en el destete fue de 4.7% y 4.8% en su experimento realizado en similares condiciones climáticas al presente.

Cuadro No. 4 Mortalidad en el área de destete año 2012

Fecha	Año 2012		%
	Existencia	Lechones Muertos	
Enero	111	4	3.60
Febrero	60	2	3.33
Marzo	118	4	3.39
Abril	118	4	3.39
Mayo	131	5	3.82
Junio	159	6	3.77
Julio	178	6	3.37
Agosto	128	5	3.91
Septiembre	143	1	0.70
Octubre	138	6	4.35
Noviembre	150	8	5.33
Diciembre	206	14	6.80
TOTALES	1640	65	Media 3.81

Fuente: Elaboración propia

Cuadro No. 5 Registro de mortalidad en el área de destete año 2013

Fecha	Año 2013		%
	Existencia	Lechones Muertos	
Enero	146	12	8.22

Febrero	148	8	5.41
Marzo	130	3	2.31
Abril	140	8	5.71
Mayo	157	6	3.82
Junio	195	11	5.64
Julio	186	13	6.99
Agosto	163	5	3.07
Septiembre	108	4	3.70
Octubre	168	4	2.38
Noviembre	208	11	5.29
Diciembre	252	10	3.97
TOTALES	2001	95	Media 4.71

Fuente: Elaboración propia

5.2 Viabilidad económica

5.2.1 Análisis de costos de la tecnología de biodigestores para la calefacción de lechones destetados

En el cuadro No. 6 se incluye el costo diario y total anual del uso de lámparas infrarrojas como referencia para determinar la viabilidad económica del uso de calefactoras BAR15 alimentadas con biogás, presentando un costo total anual de Q.173,740.00, ya que en el área de destete existían 34 lámparas infrarrojas y se tenía calculado un costo diario de Q.14.00 en granja en base a facturas de energía eléctrica y costos totales, el dato más relevante de este cuadro es el ahorro monetario que asciende a Q.96,978.02 anuales representando el 56% del costo utilizando infrarrojos. Para determinar la depreciación se utilizó el cálculo de depreciación lineal. Además el ahorro influyó de manera positiva en los costos del área de destete y en los costos generales de la granja. Este ahorro permitió realizar otras inversiones dentro de la granja como cambio de techo, tuberías, etc.

Cuadro No. 6 Cuadro comparativo de análisis de costos utilizando la tecnología de biodigestores Vs. focos infrarrojos (valores expresados en quetzales)

	Costo	Unidad	Cantidad	Total anual
<i>Energía eléctrica dentro del sistema de calefacción</i>				
a) Lámparas infrarrojas	*Q.14.00	34	365 días	173,740.00
<i>Biodigestión dentro del sistema de calefacción</i>				
a) Mantenimiento anual sistema biodigestor y calefactoras BAR15	1,000	Año	1	1,000.00
b) Costo de operación	**2,747.04	Mes	12 meses	32,964.48
c) Depreciación biodigestor	42,500	Año	1	42,500.00
d) Depreciación de calefactoras	***5950.00	Año	1	297.50
				76,761.98
Reducción de costos con la tecnología de biodigestores				96,978.02

*costo por infrarrojo diario calculado en granja, el cual incluye depreciación, instalación, consumo de energía eléctrica, cantidad de lámparas infrarrojas incluyendo su vida útil de 1000 horas.

**Salario mínimo 2016

***costo total de 17 calefactoras a Q.350.00 c/u. depreciación calculada según ley del ISR

Fuente: Elaboración propia basado en registros de granja.

VI. CONCLUSIONES

- Se concluye que el uso del biodigestor con el sistema establecido es viable técnicamente en términos de suministro uniforme de biogás y mortalidad en el área de destete.
- El uso de calefactoras artesanales (BAR15) utilizando biogás es viable económicamente para la calefacción de cerdos destetados, ya que presenta una diferencia positiva de Q.96,978.02 anuales, en relación al uso de lámparas infrarrojas.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el sistema propuesto de biodigestión anaeróbica dentro de las unidades productivas.
- Se recomienda implementar el uso de calefactoras artesanales en granjas debido al ahorro que existe comparado con el sistema convencional.

VIII. RESUMEN

Uno de los principales problemas que enfrentan las granjas porcinas es el manejo de las excretas, ya que se producen en gran cantidad y deben ser retiradas diariamente de las instalaciones donde se alojan los cerdos. La tecnología de los biodigestores es una herramienta que puede adoptarse ya que le dá valor agregado a los subproductos generados en el sector agropecuario y ayuda a mitigar los efectos del cambio climático así como a mejorar el bienestar animal lo cual incide directamente en los parámetros productivos y reproductivos. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la viabilidad técnica del uso del biodigestor con el sistema establecido en la granja, en términos de suministro uniforme de biogás y mortalidad en el área de destete así mismo, determinar la viabilidad económica de utilizar calefactoras artesanales de biogás para la calefacción de cerdos destetados a través del análisis de costos.

El presente estudio se llevó a cabo en una granja privada, dedicada a la producción de cerdos, productos lácteos, aguacate y hierbas aromáticas, ubicada en el Municipio de Sumpango del Departamento de Sacatepéquez, dista a 48 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. El presente estudio se ejecutó en un periodo total de 3 meses dentro de los cuales se hicieron las evaluaciones técnicas y económicas para cumplir con los objetivos propuestos, se evaluó el almacenamiento del biogás y su distribución hacia el área de destete, la distribución de las calefactoras a biogás dentro del área, el diámetro de calefacción, la temperatura generada por la calefactora, el sistema completo que permite la producción de biogás, así mismo la viabilidad económica mediante el análisis de costos. Se concluye que el uso del biodigestor con el sistema establecido es viable técnicamente en términos de suministro uniforme de biogás y mortalidad en el área de destete. El uso de calefactoras artesanales utilizando biogás es viable económicamente para la calefacción de cerdos destetados, ya que presenta una diferencia positiva de Q. 96,978.02 anuales, en relación al uso de lámparas infrarrojas. Se recomienda utilizar el sistema propuesto de biodigestión anaeróbica dentro de las unidades productivas, además se

recomienda implementar el uso de calefactoras artesanales en granjas, debido al ahorro que existe comparado con el sistema convencional.

SUMMARY

One of the main problems facing pig farms is the handling of excreta, as they are produced in large quantities and must be removed daily from the premises where pigs are housed. Technology biodigesters is a tool that can be adopted as it gives added value to the products generated in the agricultural sector and helps to mitigate the effects of climate change and to improve animal welfare which directly affects the production parameters and reproductive. This study aims to determine the technical feasibility of using the digester with the system established on the farm in terms of uniform biogas and mortality in weaning area and same supply determine the economic feasibility of using artisanal heating biogas heating weaners through cost analysis.

This study was conducted in a private farm dedicated to the production of pigs, dairy products, avocado and herbs, located in the Municipality of Sumpango Sacatepequez Department, is far 48 kilometers from the capital of Guatemala City. This study was carried out in a total period of three months within which the technical and economic to meet the objectives proposed assessments were made, the storage of biogas and its distribution to the weaning area was evaluated, the distribution of heating biogas within the area, the diameter of heating, the temperature generated by the heating, the complete system for the production of biogas, also the economic viability through cost analysis. It is concluded that the use of the digester with the established system is technically feasible in terms of uniform supply biogas and mortality in weaning area. The use of biogas using artisanal heating is economically viable for heating weaned pigs because it presents a positive difference Q. 96,978.02 annually, in relation to the use of infrared lamps. We recommend using the proposed anaerobic bio-digestion within production units system, it is also recommended to implement the use of artisanal heating on farms, because there savings compared to the conventional system.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arriaza García, E.E. (2008). *Evaluación de la Inclusión pre y post parto en alimento terminado en cerdas y su efecto en el desempeño productivo de los lechones y su mortalidad al destete*. Tesis de (Licenciatura). Med. Vet. FMVZ/USAC.GT
2. Cruz de la, J. (1982). *Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento*. Guatemala.GT: Instituto Nacional Forestal. 42p.
3. Dávila, J.A. (2009). Energía Limpia a través del uso de biodigestores y su importancia. *Revista Redfia*. (9). 6-7.
4. Dirección de Productos Forestales FAO. (2015). *Reunión Regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/72363s/2363s0w.htm>.
5. Dos Santos, A. Y Mora, F. (2007). Análisis experimental de tratamientos floculantes de residuos orgánicos derivados de la producción porcina. *Ciencia e Investigación Agraria*. (34) 1. 49-56.
6. Giménez, J. (2012). *Los aspectos nutricionales de la Diarrea post destete*. Recuperado de <http://www.revistaelagro.com/2012/02/28/los-lechones-su-alimentacion-y-destete/>
7. Ministerio de Energía y Minas. *Ley General de Electricidad, Decreto No.93 -96*. (2015) Recuperado de http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/06/2.1_ley_general_de_electricidad.pdf.
8. Pascual Francisco, J.B. (2011). *Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo*. Tesis de (Licenciatura). Ing Mec./UACH.MEX.
9. Pineda, E; Alvarado, E. (2008). *Metodología de la Investigación*. Washington: Organización Panamericana de la Salud.

10. Sánchez Barillas, L.E. (2005). *Comparación Bioeconómica en el cerdo post destete criados sobre dos tipos de piso en la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. Tesis de (Licenciatura). Lic. Zoot. FMVZ/USAC.GT.
11. Thomas, R. (2009). *Utilización de biodigestores: Manual de Biodigestores*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

X. ANEXOS

Cuadro No. 2 Diámetro de calefacción BAR15

Semana	Muestra	Diámetro
	1	0.60

	2	0.70
Semana 1	3	0.75
	4	0.80
	5	0.80
	1	0.85
	2	0.55
Semana 2	3	0.67
	4	0.84
	5	0.85
	1	0.70
	2	0.75
Semana 3	3	0.80
	4	0.80
	5	0.65
	1	0.68
	2	0.70
Semana 4	3	0.88
	4	0.80
	5	0.75
	1	0.75
	2	0.75
Semana 5	3	0.68
	4	0.80
	5	0.80
	1	0.85
	2	0.55
Semana 6	3	0.67
	4	0.84
	5	0.75
	1	0.75
	2	0.67
Semana 7	3	0.87
	4	0.86
	5	0.76
	1	0.75
	2	0.67
Semana 8	3	0.67
	4	0.84
	5	0.85
	Total	30.05
	Media	0.7512

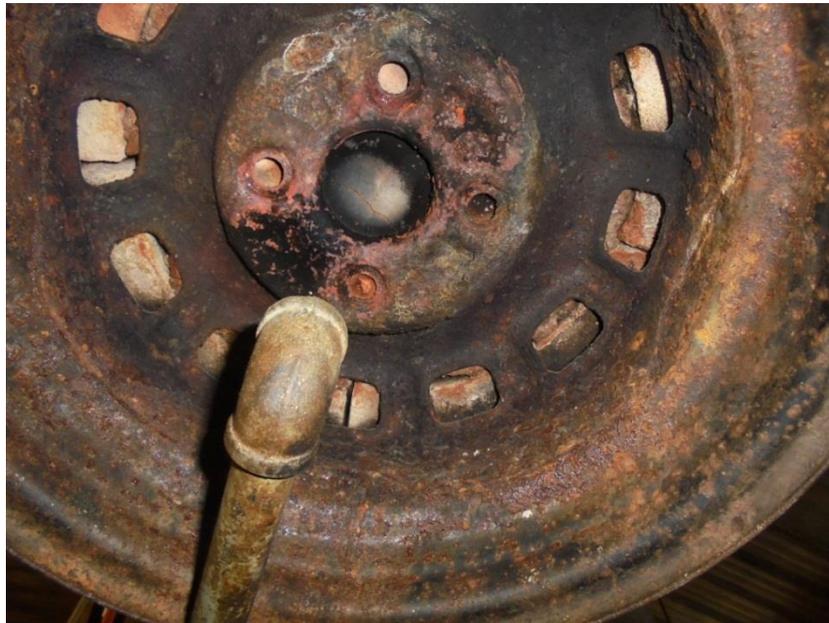
Fuente: Elaboración propia

Figura No. 9 Uso de la calefactora a biogás dentro de las jaulas de destete



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 10 Parte baja de la calefactora



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 11 Toma de datos de temperatura por personal de granja



Fuente: Elaboración propia

Figura No. 12 Vista de calefactora utilizada con cerdos destetados



Fuente: Elaboración propia

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ZOOTECNIA**

**VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS PARA LA CALEFACCIÓN DE CERDOS DESTETADOS
EN UNA GRANJA PORCINA**

f. _____
José Antonio Rodríguez Gudiel

f. _____
MSc. Axel Jhonny Godoy Durán
ASESOR PRINCIPAL

f. _____
Lic. Zoot. Braulio Rodolfo
Galicía Roca
ASESOR

f. _____
Lic. Zoot. Duglas Ruano García
EVALUADOR

IMPRÍMASE

f. _____
M.Sc. Carlos Enrique Saavedra Vélez
DECANO