



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Energía y Ambiente

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE
DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC**

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Asesorado por el M.Sc. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, noviembre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE
DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

ASESORADO POR EL M.SC. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

DTG. 426.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC**, presentado por el Ingeniero Kenneth Issur Estrada Ruiz, estudiante de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2020.

AACE/asga



Guatemala, Noviembre de 2020

EEPFI-1545-2020

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: "ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC" presentado por el Ingeniero Kenneth Issur Estrada Ruiz identifica con Carné 100023433 correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Edgar Dario Alvarez Coff
Directo

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, Noviembre de 2020

EEFFI-1530-2020

Como Coordinador de la **Maestría en Artes Energía y Ambiente** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS POR EL ESTIÉRCOL DE GANADO EN UNA FINCA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE IPALA, DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA"** presentada por la Ingeniera **Karen Michelle Martínez Figueroa** quien se identifica con Carné **200840136**.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2020

EEPFI-1546-2020

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Kenneth Issur Estrada Ruiz** quien se identifica con Carné **100023433** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC”** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Aseso

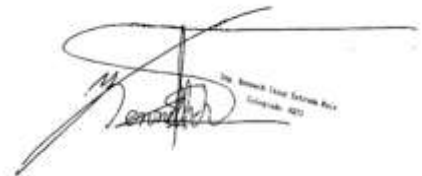


HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR MEDIO DE DESECHOS SÓLIDOS DE LA GRANJA PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, USAC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 4 de julio de 2019.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kenneth Issur Estrada Ruiz', is written over a faint, circular stamp. The stamp contains the text 'Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz' and 'Guatemala, GTD'.

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi creador y darme la salvación.
Mis padres	Sergio Vitelio Estrada Chinchilla y Orfelinda Ruiz Vásquez de Estrada.
Mis hijos	Kenneth Jareb y Kayleen Johana Estrada Catalán. Por ser la fuente de inspiración.
Mis hermanos	Lic. Trevor Brial y Arq. Sergio Mohamed Estrada Ruiz. Por su comprensión y afecto hacia mi persona.
Mi esposa	Johana Cristin Catalán Mérida, por ser mi apoyo y complemento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser una fuente importante de valores para Guatemala.

Facultad de Ingeniería

Por ser precursora de talentos para la sociedad guatemalteca.

M.Sc. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Por su asesoría y apertura en la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3. OBJETIVOS.....	5
4. GENERALIDADES.....	7
4.1. Granja Porcina Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	7
4.1.1. Visión.....	7
4.1.2. Misión	7
4.1.3. Organigrama	8
4.2. Matriz energética en Guatemala	10
4.2.1. Energía renovable.....	12
4.2.1.1. Biomasa	13
4.2.1.2. Biogás	13
4.2.1.3. Solar	13
4.2.1.4. Hidráulica	14
4.2.1.5. Eólica	14
4.2.1.6. Geotérmica	14
4.2.2. Energía no renovable.....	15
4.3. Marco regulatorio.....	15

4.3.1.	Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR).....	15
4.3.2.	Usuarios autoprodutores de energía.....	16
5.	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	19
5.1.	Biomasa.....	19
5.1.1.	Tipos de biomasa	20
5.1.1.1.	Biomasa según su origen	21
5.1.1.2.	Natural.....	22
5.1.1.3.	Residual.....	22
5.1.1.4.	Biomasa según su estado.....	22
5.1.1.5.	Biomasa según su composición.....	22
5.1.2.	Características de la biomasa.....	23
5.1.3.	Tratamiento de la biomasa	23
5.2.	Biogás.....	24
5.2.1.	Composición y características	24
5.2.2.	Descomposición anaeróbica.....	24
5.3.	Biodigestor	25
5.3.1.	Tipos de biodigestores	25
5.3.2.	Componentes generales de un biodigestor.....	26
6.	AUDITORÍA ENERGÉTICA	29
6.1.	Parámetros para determinar el consumo energético en la Granja Porcina Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Ciudad Universitaria	29
6.2.	Descripción del edificio.....	29
6.3.	Mediciones.....	32
6.4.	Acometida eléctrica.....	33
6.5.	Tableros de distribución y protecciones	33
6.6.	Canalización y cajas de registro	34

6.7.	Conductores	34
6.8.	Sistema de iluminación	34
6.9.	Puesta a tierra y apartarrayos.....	34
7.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	35
7.1.	Situación actual	35
7.2.	Aprovechamiento de la energía generada por biodigestor	36
7.3.	Mediciones de variables	36
7.4.	Definición de variables.....	37
7.4.1.	Mediciones.....	38
8.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	41
8.1.	Los resultados de la medición de las variables	41
9.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	45
9.1.	Presupuesto y evaluación financiera	49
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES.....	55
	REFERENCIAS	57
	APENDICE	61
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama General de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	9
2.	Ubicación geográfica Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	10
3.	Matriz energética de la producción de energía eléctrica en Guatemala	11
4.	Comportamiento de la matriz energética del 12/4//2020 al 23/5/2020	12
5.	Auto productores de energía eléctrica.....	17
6.	Biocombustible sólido leña	20
7.	Tipos de biomasa según sus diferentes clasificaciones	21
8.	Biodigestor de domo fijo y biodigestor tubular	26
9.	Diagrama proceso de producción de gas metano y generación de energía eléctrica.....	27
10.	Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.....	30
11.	Granja productora	30
12.	Granja productora de lechones	31
13.	Granja de ciclo completo.....	31
14.	Granja engordadora	32
15.	Acometida eléctrica Granja Experimental Facultad de Medicina y Zootecnia	33
16.	Poste de acometida eléctrica	35
17.	Software AGROGAS	39

TABLAS

I.	Caracterización química (nutrientes)	37
II.	Variables de estudio	38
III.	Demanda de energía eléctrica mensual 2019.....	41
IV.	Animales por área.....	42
V.	Generación de excretas diarias en la Granja Porcina	43
VI.	Resolución CNEE-216-2018 CNEE-217-2018 tarifas eléctricas enero 2019	45
VII.	Cálculos de biogás producido por un biodigestor utilizando el software AGROGAS considerando los 30 mWh/ año necesarios para suministrar energía eléctrica a la Granja Porcina.....	47
VIII.	Impacto en el ambiente al lograr producir 30 mWh/año en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.....	49
IX.	Presupuesto de puesta en operación de planta de biogás en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Centígrados
CO₂	Dióxido de carbono
g/l	Gramo por litro
kg	Kilogramo
kWh	Kilovatios hora
Mpa	Megapascal
MW	Megavatio
CH₄	Metano

GLOSARIO

Acetogénesis	Proceso a través del cual las bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía.
Anaerobio	Medio que no utiliza oxígeno en su metabolismo.
Bacterias	Organismos unicelulares, de vida libre o parásitos, que descomponen los desechos y los cuerpos de los organismos muertos, lo que los deja disponibles para ser reutilizados por otros organismos.
Bacterias aeróbicas	Microorganismos que requieren oxígeno libre o aire, para vivir y que contribuyen a la descomposición del material orgánico en suelos o sistemas de composta.
Bacterias anaeróbicas	Microorganismo que viven en ambientes carentes de oxígeno.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica, Guatemala.
Compostaje	Proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable, permitiendo obtener abono de excelente calidad para la agricultura.

Dióxido de carbono	Gas incoloro, inodoro e incombustible cuya fórmula es CO ₂ , presente en la atmósfera. Se forma por la combustión del carbono y sus compuestos.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.
Generador eléctrico	Máquina capaz de transformar la energía primaria en energía eléctrica.
IEC	(International Electrotechnical Commission), organización de normalización en los campos eléctricos, electrónico y tecnologías asociadas.
Normal Metro Cúbico	Es considera una medida de volumen de un gas no condensable a 0°C y nivel del mar
Normas NEC	Normas National Electrical Code NEC/NFPA70 2014.
Normas NTDROID	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
Normas NTSD	Normas Técnicas del Servicio de Distribución.
Metanización	Proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos, dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno.

Metano

Gas incoloro, inodoro e insípido compuesto por una molécula de carbono y cuatro de hidrógeno; es en extremo inflamable. Es el principal elemento constitutivo del “gas natural”, que se forma naturalmente por bacterias anaeróbicas metano génicas o que puede producirse en forma sintética. Se utiliza como combustible y para fabricar sustancias químicas.

Potencia

Se mide en vatios o watts y es la transferencia de energía que permite realizar un trabajo en la unidad de tiempo.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Se utilizó una investigación cuantitativa a través de encuestas, entrevistas, y recopilación de datos, con el propósito de hacer un análisis estadístico descriptivo de la estimación del potencial de generación eléctrica por medio de los desechos sólidos vertidos en la fosa séptica de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Se realizó investigación bibliográfica en los archivos de la Dirección General de Administración de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGA) donde se obtuvo el historial de facturación mensual de la granja.

Se realizó investigación de campo con visitas a la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia autorizadas por la dirección de la Granja Experimental donde se tomaron muestras y se realizaron las mediciones pertinentes para el desarrollo de la investigación. Con los datos obtenidos se estableció el potencial de generación eléctrica por medio de desechos sólidos de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Por último, se realiza un análisis financiero beneficio-costos para establecer el retorno de la inversión.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los costos de la energía eléctrica se han elevado, y en el proceso de crianza y reproducción de cerdos es importante contar con un suministro continuo de energía eléctrica porque mejora la calidad de producción, seguridad y buenas condiciones de trabajo; por esa razón, es necesario lograr reducir los costos e impactos del consumo eléctrico, y buscar alternativas para la generación de energía por medio del proceso de crianza de cerdos. Por tales motivos el presente trabajo es de suma importancia para la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

La Granja Porcina de la Facultad de Veterinaria se ubicada en la ciudad universitaria Zona 12, tiene un consumo energético promedio de 1 200 kW por mes a un costo aproximado de Q2 500.00 por mes, según el registro de facturación emitido por la Empresa Eléctrica de Guatemala.

En este trabajo de investigación se realizará la caracterización de los aspectos generales que intervienen en la estimación del potencial de generación eléctrica por medio de desechos sólidos de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, entre los cuales podemos mencionar el marco legal, el marco regulatorio, entre otros. Se definirán los factores que influyen directa e indirectamente en el proceso y estudios previos realizados como el comportamiento de la matriz energética en Guatemala. Se desarrolla un capítulo que da el soporte conceptual a los componentes del proceso de generación de energía renovable a través de los desechos orgánicos de los cerdos en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, siendo estos la biomasa, bigas, biodigestor y todas sus características.

Se pretende determinar la caracterización de la carga instalada, análisis de facturación. Estableceremos la demanda mensual y diaria, y se realizará un diagnóstico de las instalaciones eléctricas de la granja. Se elabora una memoria de cálculos y medición de los desechos del tanque de captación, se hará un análisis de eficiencia y calidad de energía y un estudio de ahorro energético en la facturación eléctrica, luego se analizarán los resultados de la medición de las variables en la generación de energía eléctrica en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dado el alto costo de la energía eléctrica en Guatemala es necesario buscar alternativas de generación eléctrica a través de fuentes que no utilicen combustibles fósiles, y una muy buena alternativa es generar energía con metano producto de los desechos sólidos producidos por la granja.

Es así como este proyecto propone el estudio de eficiencia eléctrica de las diferentes áreas de producción y apoyo, como también la evaluación de eficiencia y sostenibilidad al hacer uso de esta fuente denominada desechos (estiércol, orina y sangre) para la producción de energía eléctrica, con la finalidad de usarla como autoconsumo; los desechos biológicos producidos en la granja tendrán un proceso de producción de energía sin generar una alta contaminación al ambiente.

Este proyecto puede complementarse como parte de los componentes en proceso de enseñanza aprendizaje aplicados actualmente en la granja de cerdos.

Pregunta principal

¿Se puede determinar el potencial de generación de energía eléctrica utilizando los desechos sólidos vertidos en la fosa séptica en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia?

Preguntas auxiliares

¿Se puede determinar el beneficio financiero de la producción de energía eléctrica a través del aprovechamiento del metano proveniente de los desechos sólidos de la granja?

¿Se puede ofrecer una alternativa que reduzca y mitigue el impacto ambiental debido a los desechos sólidos de la granja?

¿Se podrá generar energía eléctrica en la Granja Porcina a través de desechos sólidos?

¿Se puede proponer una propuesta técnica relacionada al cálculo de la energía demandada por la granja?

3. OBJETIVOS

General

Determinar el potencial de generación de energía eléctrica utilizando los desechos vertidos en la fosa séptica producidos en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Específicos

1. Determinar el beneficio financiero de la producción de energía eléctrica a través del aprovechamiento del metano proveniente de los desechos sólidos de la granja.
2. Ofrecer una alternativa que reduzca y mitigue el impacto ambiental debido a los desechos sólidos de la granja.
3. Establecer un plan de mantenimiento eléctrico en las instalaciones de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

4. GENERALIDADES

4.1. Granja Porcina Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

La Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia fue creada para ser utilizada como unidad piloto para las prácticas docentes y manejo de la productividad del sector pecuario.

4.1.1. Visión

Fortalecer la capacidad de los estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia mejorando sus habilidades y conocimientos mediante la práctica de actividades cotidianas de manejo. Planificación, implementación y ejecución de los puntos de investigación que surgen de estudiantes, docentes y profesionales para el desarrollo de nuevas alternativas para obtener mejoras en la productividad del sector pecuario. Garantizar una producción constante a lo largo de un periodo que permita generar ingresos para mejora de las instalaciones de la Granja Experimental.

4.1.2. Misión

Contribuir con la aplicación práctica de los cursos impartidos en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, brindando apoyo mediante la facilitación de insumos y recursos biológicos requeridos para las prácticas de los mismos. Facilitar el desarrollo de puntos de investigación que contribuyan como

alternativas aplicables al sector productivo del país. (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 2020)

4.1.3. Organigrama

El organigrama general de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia representa en forma gráfica como está organizada la Facultad.

La Granja Experimental se encuentra ubicada en la Ciudad Universitaria zona 12, en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Figura 2. **Ubicación geográfica Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**



Fuente: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Ubicación geográfica franja experimental.*

Consultado el 10 de febrero de 2020. Recuperado de

<http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-23-47/granja-experimental>

4.2. **Matriz energética en Guatemala**

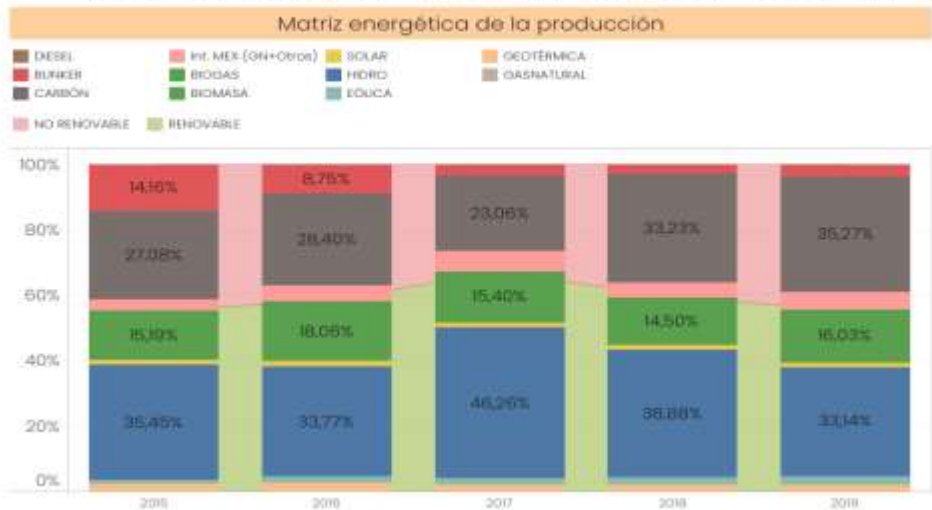
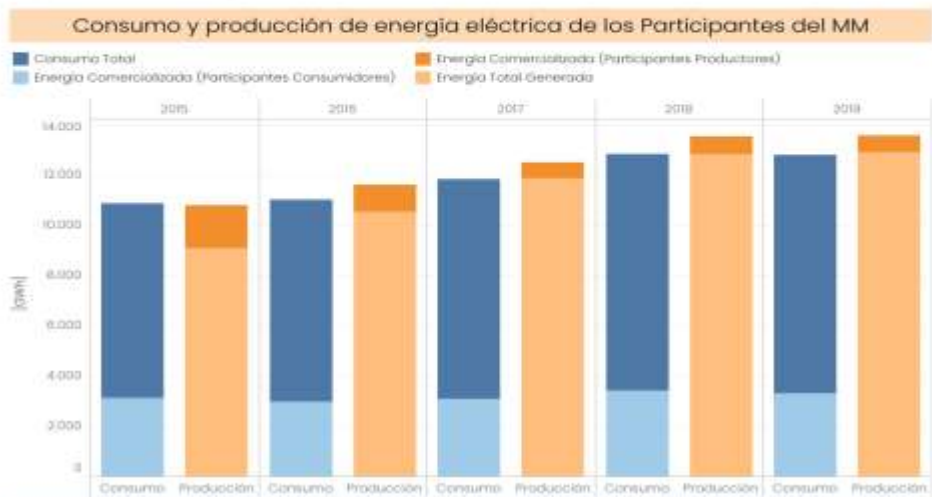
En el año 2018 el 86 % de energía generada en la matriz energética de la producción Guatemala fue a través de biomasa, hidro y carbón; y la tendencia desde el año 2014 al 2018 es desaparecer la producción de energía eléctrica por Bunker, la única constante es la energía que se recibe de la interconexión con

México que en los últimos cinco años ha estado en promedio de un 5 % del total de la matriz energética.

Figura 3. **Matriz energética de la producción de energía eléctrica en Guatemala**

Informe Estadístico 2.015-2.019

Informe Estadístico del Mercado Nacional de Energía Eléctrica	Información económica - EE y consumo de combustible	Datos Generales del Mercado Mayorista de Guatemala	Consumo y producción	Producción de Hidro, solar y eólica	Emisión CO ₂ de carbón, fueloil y fuelgas	Emisión CO ₂ de CO ₂ -de-GU
---	---	--	----------------------	-------------------------------------	--	---

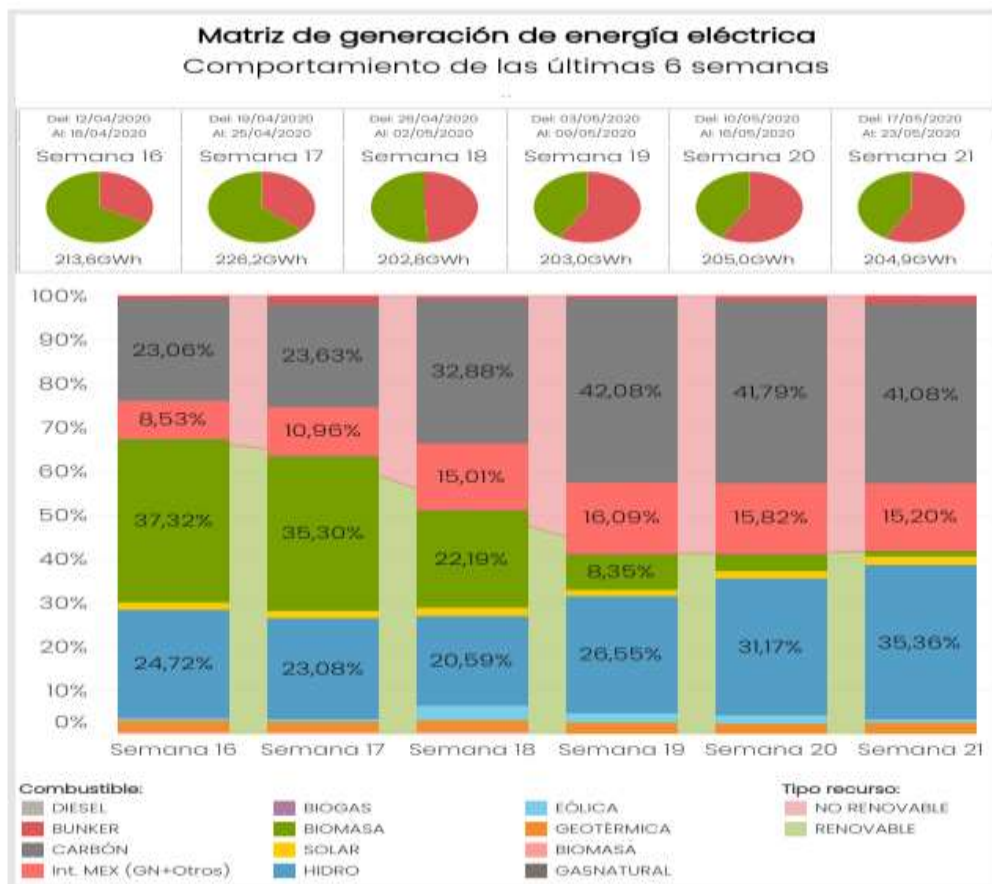


Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica Guatemala, Centro América. *Informe estadístico del mercado nacional 2015-2019*. Consultado el 20 de febrero de 2020. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=4889.

4.2.1. Energía renovable

En Guatemala la energía renovable se ha estado implementando en los últimos años, siendo las más utilizadas la biomasa, biogás, solar, hidro, eólica, geotérmica. Como podemos observar en la figura 4 aún no hemos podido superar el 50 % de la producción de energía renovable que encarece la energía eléctrica en nuestro país.

Figura 4. Comportamiento de la matriz energética del 12/4/2020 al 23/5/2020



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica Guatemala, Centro América. *Matriz histórica de generación*. Consultado el 20 de febrero de 2020. Recuperado de http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=3293.

4.2.1.1. Biomasa

“Guatemala posee 7.3 millones de hectáreas para uso de la agricultura, que equivale a 67.5 % del territorio nacional; el 12 % de esta superficie se dedica a cultivos anuales (maíz, frijol, arroz y hortalizas entre otros), el 14 % a cultivos permanentes y semipermanentes (café, caña de azúcar, hule, palma africana y cardamomo entre otros.); el 23 % corresponde a pastos y el 51 % a bosques, matorrales y otros usos no agrícolas” (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2016, p.34). De lo anterior, podemos mencionar que en Guatemala una de las industrias agrícolas más grandes es la azucarera que de un proceso de cogeneración produce energía eléctrica a través de biomasa (bagazo de caña).

4.2.1.2. Biogás

En Guatemala por sus condiciones agropecuarias el biogás se puede considerar para la fuente de generación de energía a bajo costo. En los últimos 4 años la biomasa en conjunto con el biogás representa el 15 % en promedio de la producción de energía eléctrica de la matriz energética.

4.2.1.3. Solar

Debido a su posición geográfica, Guatemala presenta valores significativos de radiación solar durante casi todo el año, lo cual convierte al país en idóneo para el aprovechamiento de esta forma de energía. Al mes de septiembre de 2018, existen ocho centrales solares fotovoltaicas de generación eléctrica conectadas al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia instalada efectiva total de 91.5 MW. Una de estas centrales se localiza en Estanzuela, Zacapa; dos en Chiquimulilla, Santa Rosa; tres en

Taxisco, Santa Rosa; una en Moyuta, Jutiapa; y una en Jutiapa, Jutiapa. (Ministerio de Energía y Minas, 2018, p. 36)

4.2.1.4. Hidráulica

“La historia de la generación de energía eléctrica en Guatemala da inicio en 1884, cuando se instaló la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote al norte de la ciudad capital, con capacidad de encender 135 lámparas. Al mes de septiembre de 2018, en centrales hidroeléctricas conectadas al Sistema Nacional Interconectado -S.N.I.-, se tiene una potencia instalada efectiva total de 1,444.27 MW” (Ministerio de Energía y Minas, 2018, p. 40).

4.2.1.5. Eólica

En Guatemala “Al mes de septiembre de 2018, se tienen instalados tres parques de generación eólica conectados al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia efectiva instalada total de 106.50 MW. Uno de ellos se localiza en Villa Canales, Guatemala; uno en San Vicente Pacaya, Escuintla; y el otro parque de generación en Agua Blanca, Jutiapa” (Ministerio de Energía y Minas, 2018, p. 41).

4.2.1.6. Geotérmica

En Guatemala existen dos centrales de generación geotérmica que se encuentran conectadas al Sistema Nacional Interconectado, y que suman una potencia efectiva instalada de 35.23 MW. Una de estas centrales se localiza en el municipio de Zunil, departamento de Quetzaltenango, y la otra, en el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla. Existen

también otros aprovechamientos de este recurso en baños termales, balnearios y centros recreativos, en los departamentos de Quetzaltenango, Chiquimula, Santa Rosa, El Progreso, Jalapa, Totonicapán y Quiché. (Ministerio de Energía y Minas, 2018, p. 45)

4.2.2. Energía no renovable

En Guatemala la energía no renovable representa más del 60 % de la producción de energía eléctrica de la matriz energética y las más utilizadas son el diésel, carbón y bunker.

4.3. Marco regulatorio

El marco legal que restringe las energías renovables podemos mencionar la Norma técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable (NTGDR).

4.3.1. Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR).

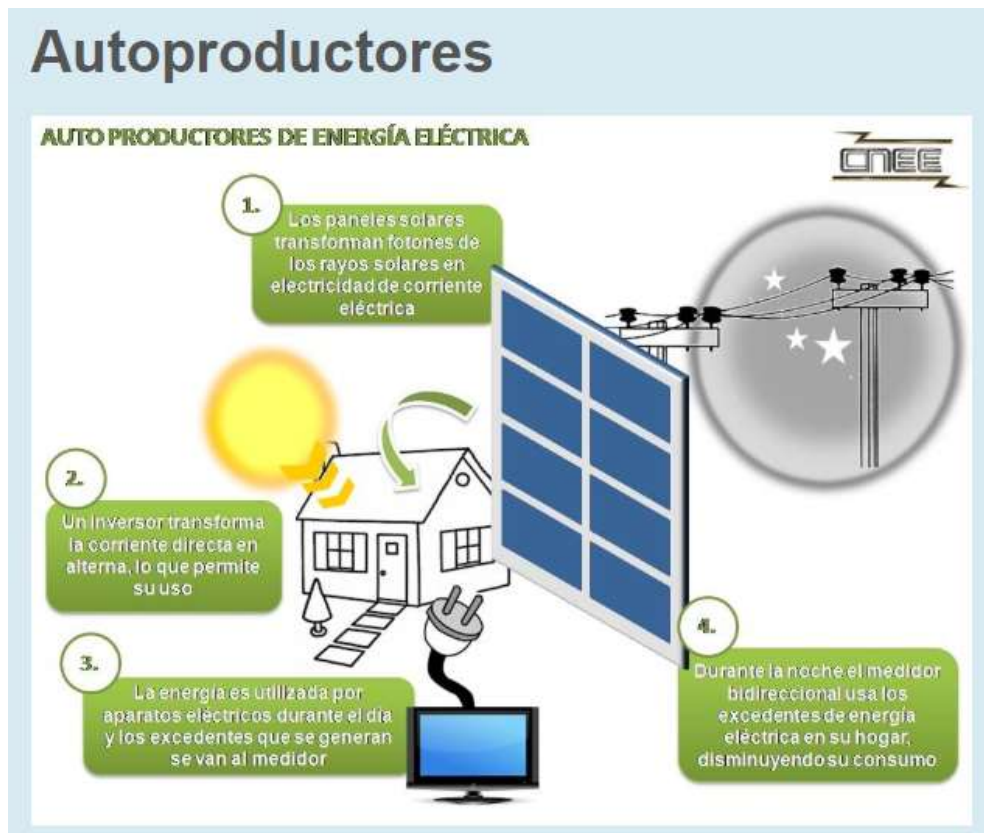
En el 2008 La Comisión Nacional de Energía Eléctrica puso en vigencia la Resolución CNEE No. 171-2008, que es la norma encargada de la autorización de proyectos de generación distribuida renovable y a la vez de los usuarios autoprodutores. La comisión nacional el 16 de septiembre del 2007, realiza la Norma Técnica para la conexión, operación, control y comercialización de la generación distribuida renovable (NTGDR) y usuarios autoprodutores con excedentes de energía, la que vamos a utilizar en este trabajo.

4.3.2. Usuarios autoprodutores de energía

Un usuario autoprodutor con excedentes de energía es el usuario del sistema de distribución que inyecta energía eléctrica a dicho sistema, producida por generación con fuentes de energía renovable, ubicada dentro de sus instalaciones de consumo, y que no recibe remuneración por dichos excedentes

La Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable (NTGDR) y Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía establece las disposiciones generales que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables y los Distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables. (Energía, 2019, p. 25)

Figura 5. Autoprodutores de energía eléctrica



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica Guatemala, Centro América. *Autoprodutores*.

Consultado el 20 de febrero de 2020. Recuperado de

http://www.cnee.gob.gt/wp/?page_id=1746

5. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

5.1. Biomasa

Se conoce como biomasa al conjunto de materia orgánica de origen diverso, que es utilizada para producir energía.

En el ámbito energético la biomasa la podemos utilizar como materia prima (ya que a través de ella se pueden generar una infinidad de productos) y la energía que produce al utilizarla (esto debido a que al utilizarla se adapta a todos los campos de combustibles tradicionales sustituyéndolos por biocombustibles).

Dentro de los biocombustibles generados al procesar la biomasa podemos realizar una división de estos por su estado de materia en:

- Biocombustibles gaseosos (biogás, hidrogeno, entre otros).
- Biocombustibles líquidos (bioetanol, alcoholes, aceites vegetales, entre otros).
- Biocombustibles sólidos (leña, carbón vegetal, entre otros).

Figura 6. **Biocombustible sólido leña**

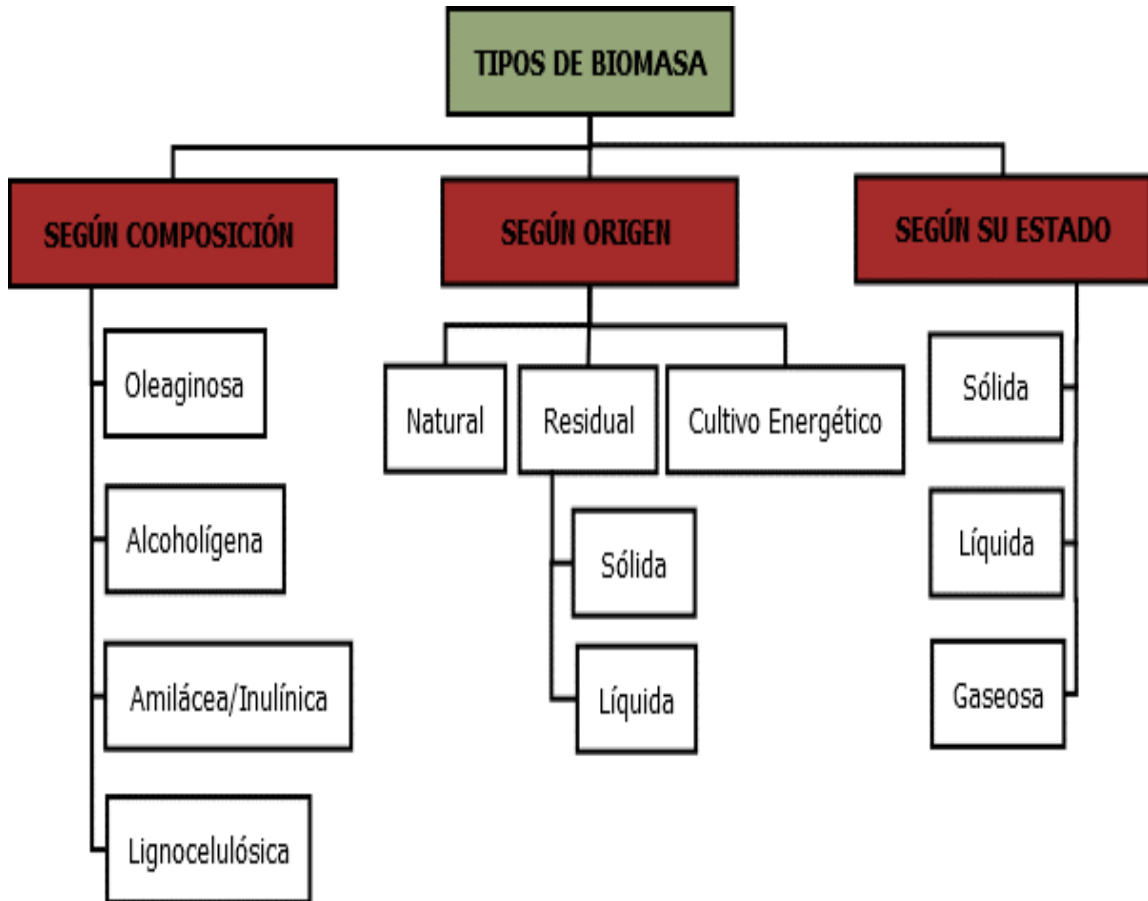


Fuente: elaboración propia.

5.1.1. Tipos de biomasa

Se puede clasificar a la biomasa según su composición, según su origen y según su estado. En la figura 7, podemos observar los tipos de biomasa y sus subdivisiones.

Figura 7. Tipos de biomasa según sus diferentes clasificaciones



Fuente: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT (2012).
Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. .

5.1.1.1. Biomasa según su origen

La biomasa según su origen la podemos subdividir en origen natural o de origen residual.

5.1.1.2. Natural

En la naturaleza aún se encuentran ecosistemas en los cuales no se ha tenido contacto humano y de forma espontánea se produce biomasa. A esta biomasa se le conoce como biomasa natural.

5.1.1.3. Residual

La biomasa residual se produce por residuos de distintas actividades en la civilización y podemos clasificarlos en: sólidos y líquidos o en secos y húmedos, de los que podemos mencionar a los residuos ganaderos, residuos agroindustriales, residuos de actividades agrícolas, forestales y de jardinería, residuos de industrias agrícolas entre otros.

5.1.1.4. Biomasa según su estado

Según su estado la biomasa la podemos clasificar en biomasa líquida, biomasa gaseosa y biomasa sólida. En biomasa líquida podemos mencionar a las aguas residuales urbanas, aceites y biocarburantes entre otros. En biomasa gaseosa podemos mencionar al biogás o metanol los cuales se producen de los residuos de animales, agro alimentos entre otros. En la biomasa sólida podemos mencionar a la madera entre otros.

5.1.1.5. Biomasa según su composición

La biomasa según su composición la podemos clasificar en:

- Oleaginosa (semillas).

- Alcohólica la que obtenemos de hidratos de carbono monosacáridos y disacáridos entre los cuales podemos mencionar a la glucosa, fructosa y sacarosa.
- Amilácea la cual obtenemos de hidratos de carbono polisacáridos entre los cuales podemos mencionar a la insulina y almidón, d) Lignocelulósica la cual obtenemos de hidratos de carbono Polisacáridos entre los cuales podemos mencionar la hemicelulosa y celulosa.

5.1.2. Características de la biomasa

Para la utilización de la biomasa debemos de considerar:

- La composición química, ya que la biomasa está formada de tres partes, su parte orgánica, inorgánica y agua.
- Contenido de humedad y se calcula a partir de la masa de agua contenida en la materia seca.
- Poder calorífico que es la energía en la biomasa
- Densidad aparente.
- Porcentaje de ceniza.

5.1.3. Tratamiento de la biomasa

La biomasa la utilizamos para transformar energía a través de combustión directa, gasificación entre otros. La energía que podemos obtener a través de la biomasa podemos mencionar:

- Energía térmica
- Energía eléctrica

- Biocombustibles

5.2. Biogás

El biogás es un biocombustible obtenido de la biomasa a normalmente a través de una descomposición anaeróbica utilizando como medio un biodigestor.

5.2.1. Composición y características

Químicamente el biogás está compuesto por la estructura de Lewis cuya fórmula química es CH_4 , a una temperatura de auto combustión de 650-750 °C, densidad nominal de 0.7 g/l, presión crítica de 4.7 MPa, un punto de ebullición de -161.6 °C, y un punto de fusión de -182 °C, entre otros.

Las características más destacadas es su poder calorífico, velocidad de ignición, el índice de wobbe entre otros.

5.2.2. Descomposición anaeróbica

Es un proceso biológico que se realiza a través de la fermentación microbiano que se genera por la ausencia de oxígeno que transforma la materia orgánica en gases. La descomposición anaeróbica la podemos dividir en tres fases:

- Fase hidrolítica
- Fase ácida
- Fase metanorgánica.

5.3. Biodigestor

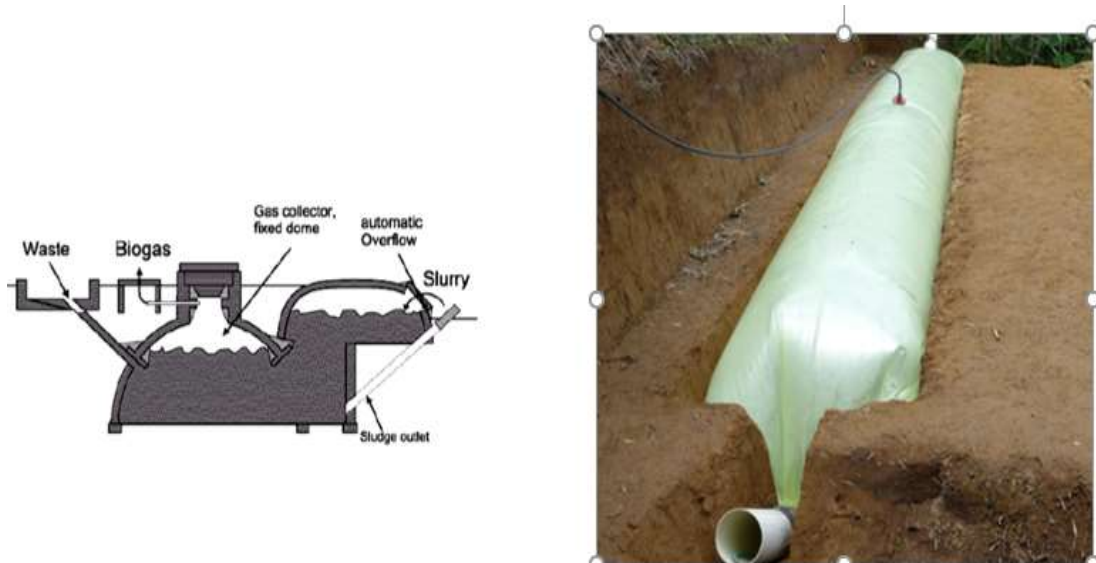
Un biodigestor es un contenedor de biomasa cerrado y hermético donde se efectúa la descomposición anaeróbica.

5.3.1. Tipos de biodigestores

Se han desarrollado muchos biodigestores de domo fijo y tubular, pero dentro de los más utilizados podemos mencionar:

- Biodigestor de campana flotante: este biodigestor tiene forma de campana y generalmente se coloca en el suelo sin importar la topografía del terreno.
- Biodigestor tipo chino: este biodigestor es utilizado para producir fertilizante orgánico con escasa contaminación de microorganismos patógenos.
- Biodigestor de carga intermitente: este tipo de biodigestor se llena en su totalidad contenedor y se descarga cuando terminó el proceso de fermentación.

Figura 8. **Biodigestor de domo fijo y biodigestor tubular**

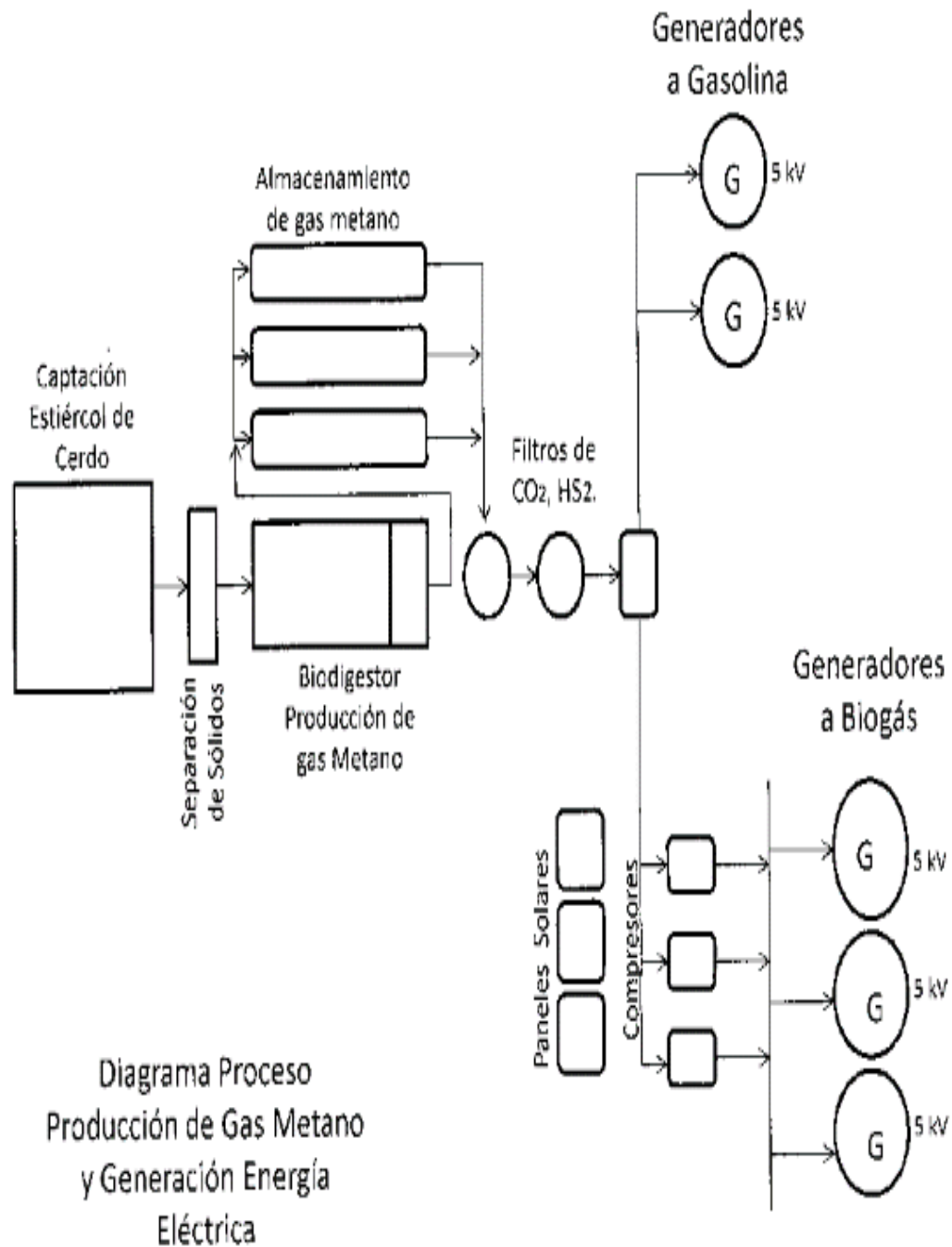


Fuente: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT. *Biodigestores tubulares guía de diseño y manual de instalación.*

5.3.2. Componentes generales de un biodigestor

Normalmente un proceso de producción de biogás está compuesto por la captación de la biomasa, la separación de los sólidos, el biodigestor, el almacenamiento de gas metano, los filtros de CO₂, compresores y generadores de biogás. En la figura 9 se observa un híbrido de generación de energía eléctrica entre biomasa, solar y generador a gasolina.

Figura 9. Diagrama proceso de producción de gas metano y generación de energía eléctrica



Fuente: elaboración propia, empleando software Paint 3D Windows 10.

6. AUDITORÍA ENERGÉTICA

6.1. Parámetros para determinar el consumo energético en la Granja Porcina Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Ciudad Universitaria

Para determinar el consumo energético de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, se realizó una visita de campo en el cual se realizó, un levantamiento de la caracterización de la carga que estaba instalada al circuito eléctrico de alimentación.

6.2. Descripción del edificio

La Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia se divide en cuatro subgranjas siendo estas: Granja Productora, Granja Productora de Lechones, Granja de Ciclo Completo y Granja Engordadora.

Figura 10. **Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Granja productora**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Granja productora de lechones**



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Granja de ciclo completo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Granja engordadora**



Fuente: elaboración propia.

6.3. Mediciones

Se encontró un medidor tipo socket 120/240 con un flipón principal de 2x100 Amperios con caja para exteriores.

6.4. Acometida eléctrica

La acometida eléctrica aérea 120/240 voltios 1 fase 3 alambres está conectada al servicio de baja tensión de la Empresa Eléctrica de Guatemala, y cumple con las normas de condiciones generales para el suministro en baja tensión y requisitos constructivos para acometidas de servicio eléctrico. (MT.2.60.03), y cumple con la norma técnica NT 2.00.01 Normas de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. pero no cumple con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014, Artículo 230).

Figura 15. **Acometida eléctrica Granja Experimental Facultad de Medicina y Zootecnia**



Fuente: elaboración propia.

6.5. Tableros de distribución y protecciones

Los tableros de distribución y protecciones no cumplen con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014, Artículo 110, 240).

6.6. Canalización y cajas de registro

Las canalizaciones y cajas de registro se encontraron deterioradas y oxidadas por uso y falta de un plan de mantenimiento, y no cumplen con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014), según lo especificado en el Artículo 110. Requisitos para instalaciones eléctricas.

6.7. Conductores

Se encontraron los conductores en estado deteriorado debido a que cumplió su vida útil, sobre dimensionados o subdimensionados en los distintos circuitos de distribución, fuerza e iluminación, no cumplen con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014, Artículos 200, 210, 215, 220, 225, 310).

6.8. Sistema de iluminación

Al realizar la inspección del estado físico y eléctrico de las luminarias no cumple con las condiciones técnicas y su vida útil ha expirado, el flujo luminoso no es el adecuado para las áreas de trabajo y no cumple con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014, Artículo 110).

6.9. Puesta a tierra y apartarrayos

No se encontró un sistema puesta a tierra, no cuenta con apartarrayos y no cumple con la National Electrical Code® 2014 (NEC 2014, Artículos 250 y 280).

7. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

7.1. Situación actual

La Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia tiene un promedio mensual de 2000 kWh/mes en promedio lo que provoca una elevada facturación de energía eléctrica. Y no se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de las instalaciones eléctricas, el suministro de energía eléctrica es a través de una acometida conectada a la red de distribución de la empresa eléctrica de Guatemala. No se cuenta con una fuente de generación propia de energía eléctrica.

Figura 16. Poste de acometida eléctrica



Fuente: elaboración propia.

7.2. Aprovechamiento de la energía generada por biodigestor

Es necesario analizar el aprovechamiento de la energía generada por el biogás producido por las excretas, orines y otros desechos sólidos generados a partir de la crianza de cerdos.

Para cuantificar el suministro de energía necesario para cubrir las necesidades eléctricas de la granja se determinó que solo hay una acometida 120/240 voltios 1 fase, con contador unidireccional propiedad de la EEGSA.

A través de la Dirección General de Administración de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGA) se obtuvo el historial de facturación mensual de la granja.

Con visitas de campo autorizadas por la dirección de la Granja Experimental se tomaron muestras para poder cuantificar la estimación de potencial de generación de energía eléctrica de la granja.

7.3. Mediciones de variables

Las mediciones de demanda de energía eléctrica se obtendrán a través de una investigación documental de la facturación de energía eléctrica en los archivos de la DIGA.

Las mediciones de biomasa se realizarán tomando en cuenta las mediciones de la física y la química a través de la caracterización de las muestras.

En la medición física se pesó la muestra de excretas y orines producidos por cerdos de 25 a 100 kg, posteriormente se hizo una estimación del porcentaje de residuo de los cerdos según su peso.

La Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, caracterizó químicamente los nutrientes en los desechos sólidos orgánicos (excretas) dando los datos de la tabla de caracterización química de nutrientes.

Tabla I. **Caracterización química (nutrientes)**

Caracterización química (nutrientes)	Unidad de medida
Nitrógeno	Ppm
Humedad	%
pH	Unidades

Fuente: elaboración propia.

Las mediciones del biogás se realizar por medio de la fórmula de productividad metanoica.

7.4. Definición de variables

Para el estudio de la estimación de potencial de generación de energía eléctrica por medio de desechos sólidos de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia se consideran las siguientes variables:

Tabla II. **Variables de estudio**

Categorías	Variables	Indicadores
Energía	Demanda actual	kWh
	Biomasa	Quintales
	Metano producido	m ³ /año
Factibilidad económica	Costos: Q	Quetzales
	Retorno de la inversión: años	Años
	Reducción de factura eléctrica Q o \$	Quetzales

Fuente: elaboración propia.

7.4.1. Mediciones

Para determinar el peso de la biomasa se utilizó un dinamómetro y para el cálculo de biogás se utilizó AGROGAS que es un software de desarrollo multidisciplinario con base en modelación matemática que se acerca mucho a la realidad de la viabilidad de una planta de biogás. “El objetivo de Agrogas es permitir que los sectores agrícola, agroindustrial y ganadero reduzcan el impacto medioambiental generado por sus residuos y mejorar la eficacia de los recursos energéticos de las zonas rurales para disminuir su dependencia energética. Este proyecto está financiado por la Unión Europea a través del programa de cooperación territorial INTERREG IV B del Espacio Sudoeste Europeo (SUDOE), perteneciente al Fondo Europeo de Desarrollo Regional” (Federer, 2017, p.60).

Figura 17. Software AGROGAS



Software AGROGAS

Software de análisis de viabilidad de plantas de biogás
Logiciel d'analyse de faisabilité des installations de biogaz
Software de análise da viabilidade de plantas de biogás



Fuente: Agro gas. *Software AGROGAS*. Consultado el 25 de febrero de 2020. Recuperado de <http://www.agrogas.eu/herramienta-de-biog-s-532.html>.

8. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

8.1. Los resultados de la medición de las variables

- Demanda de energía eléctrica

Los siguientes datos se obtuvieron de la facturación mensual de la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Tabla III. **Demanda de energía eléctrica mensual 2019**

Mes año 2019	Energía demandada kWh/mes
Enero	2300
Febrero	2130
Marzo	2500
Abril	2625
Mayo	2301
Junio	2221
Julio	2345
Agosto	2326

Continuación tabla III.

Septiembre	2153
Octubre	2103
Noviembre	2053
Diciembre	2013

Fuente: elaboración propia.

- Biomasa

En la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos que está dividida en cuatro subgranjas se hizo la toma de muestras en función del número de cerdos por área.

Tabla IV. **Animales por área**

Área	Número de animales
Granja Productora	5
Granja Productora de Lechones	3 (vientres) 17 (lechones)
Granja de Ciclo Completo	5
Granja Engordadora	20

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Generación de excretas diarias en la Granja Porcina**

Área	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día7	Totales	Promedio
Granja productora	8.20	9.23	8.45	8.69	9.45	8.71	8.96	61.69	8.80
Granja productora de lechones	13.20	12.46	11.25	10.68	11.76	14.53	11.38	85.26	12.20
Granja de ciclo completo	7.85	8.94	9.56	8.54	7.52	8.31	7.52	49.70	7.10
Granja engordadora	30.50	26.75	21.20	25.01	28.30	27.54	28.50	187.80	26.80
Total								384.45	54.90

Fuente: elaboración propia.

Con los datos tomados observamos que la producción de excretas por semana es de 384,45 kg un con promedio diario de 54,9 kg, lo que nos daría un total de 20,02 ton/año.

Para producir biogás se considera los siguientes componentes:

- Sistema de alimentación: encargado de recibir, mezclar y alimentar los distintos sustratos.
- Digestor anaerobio: tanque calefactado donde se lleva a cabo el proceso de digestión.
- Gasómetro: permite el almacenamiento de cierto volumen de biogás antes de su uso.

- Sistema de almacenamiento de digeridos: permite la acumulación del digerido antes de su aplicación final.

Se considera en este estudio de estimación de potencial eléctrico a través de desechos sólidos en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que el biogás es utilizado como combustible en un motor, el cual está acoplado a un generador eléctrico. La energía eléctrica y térmica generada puede utilizarse indistintamente para autoconsumo o para su venta.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Con los valores obtenidos en el levantamiento de datos de excretas producidas por semana como se observa en la tabla V de generación de excretas diarias en la Granja Porcina, nos dio una producción de excretas por semana de 384,45 kg con un promedio diario de 54,9 kg. Con estos datos procedemos a hacer el cálculo de gas metano producido por la granja con el software AGROGAS, tomando los parámetros relacionados con la ubicación de la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia quedando de la siguiente manera: temperatura ambiente 22 °C ambiente húmedo, con coordenadas en latitud 14,9 y longitud -90,55 y un consumo energético total anual aproximado de 30 mW/h. en la tabla VI se puede observar las tarifas vigentes en enero de 2019.

Tabla VI. **Resolución CNEE-216-2018 CNEE-217-2018 tarifas eléctricas enero 2019**

Resolución	CNEE-216-2018 CNEE-217-2018
Tarifa: Social – TS	Valor
Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	8.887887
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.119951
Tarifa: baja tensión No Social – BTS	Valor
Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	8.887887
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.172832

Continuación tabla VI.

Tarifa: baja tensión autoprodutores - BTSA	Valor
Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	10.665464
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.226454
Tarifa: alumbrado público – AP	Valor
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.303955
Tarifa: alumbrado privado o publicitario nocturno – APPN	Valor
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.303955
Tarifa: vigilancia, seguridad o comunicaciones – VSC	Valor
Cargo unitario por energía (Q/kWh)	1.07246

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica Guatemala, Centro América.

Calculadora. Consultado el 20 de febrero de 2020. Recuperado de

<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/resoluciones.php>.

Al tomar como referencia la tarifa de baja tensión no social BTS el valor por cargo por consumir (Q/ usuario-mes) fue de 8,88 y el cargo unitario por energía fue de Q1,17 kWh/m, tenemos un gasto anual aproximado de Q30 000,00.

Se considera en este estudio de estimación de potencial eléctrico a través de desechos sólidos en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que el biogás es utilizado como combustible en un motor, el cual está acoplado a un generador eléctrico. La energía eléctrica y térmica generada puede utilizarse indistintamente para autoconsumo o para su venta.

Se utilizará para los cálculos de biogás y CH₄ la dimensional Normal Metro Cúbico que se considera una medida de volumen de un gas no condensable a 0°C y nivel del mar. Al no disponer de agua, su humedad relativa es 0 %. El software AGROGAS se tomará considerando que la demanda anual promedio de energía eléctrica en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia es 30 mWh/año. Y los parámetros a utilizar serán las coordenadas de la capital de Guatemala, una temperatura promedio de 22 °C y una distancia menos a 10 km de la granja a la fosa séptica. Y el equipo propuesto para la producción de biogás y CH₄ es un sistema de alimentación, digestor anaerobio, gasómetro, sistema de almacenamiento de digeridos

Tabla VII. Cálculos de biogás producido por un biodigestor utilizando el software AGROGAS considerando los 30 mWh/año necesario para suministrar energía eléctrica a la Granja Porcina

Datos iniciales

País	Guatemala	
Coordenadas Granja Porcina	14.58 ° N ; 90.55 ° W	
Temperatura media	22	°C
Residuos a distancia <=10km	100	%
Residuos a distancia >10km	0	%

Valorización del biogás

Forma de valorización del biogás	Caldera
Uso que se da a la electricidad	No
Uso que se da al calor	Autoconsumo
Uso que se da al biometano	No
Demanda de energía anual en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	30 mWh/año

Continuación tabla VII.

Digestión anaerobia

Tecnología de digestión	Húmeda	Unidad
Cantidad de sustrato procesado	60	ton/año
Cantidad de materia seca procesada	8	ton/año
Cantidad de materia orgánica procesada	6	ton/año
Cantidad de materia orgánica destruida	4	ton/año
Necesidades de agua de dilución	0	m ³ /año
Tasa de recirculación	0	%
Necesidades de materia seca para concentrar	--	ton/año
Cantidad de digerido producido	56	ton/año
Volumen total del digestor	8	m ³
Tiempo de retención hidráulica	47	Días
Necesidades de calor de proceso	1	mWh/año
Producción de CH ₄	1 846	Nm ³ /año
Producción de biogás	2 967	Nm ³ /año
Caudal medio de biogás producido	0	Nm ³ /h

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 6, para lograr que se genere 30 mWh/año es necesario tener una dieta variada en los cerdos de la granja para tener 60 ton/año de sustrato procesado, 8 ton/año de materia seca procesada, 6 ton/año de materia orgánica procesada, 4 ton/año de materia orgánica destruida. Por la orina dentro del biodigestor y la humedad de la excreta no se necesita la difusión de agua en la mezcla que contiene el biodigestor. Los días necesarios para lograr el proceso completo de generación de biogás y CH₄ son de 47 días produciendo en ese tiempo 56 ton/año de digerido para uso agrícola, de esa manera se logra

generar 1 846 Normal Metro Cúbico de CH4 y 2 967 Normal Metro Cúbico de biogás.

Tabla VIII. Impacto en el ambiente al lograr producir 30 mWh/año en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Estudio medioambiental

Ahorro de energía primaria	14	mWh/año
Ahorro de emisiones de CO2 equivalente	4	ton/año
Árboles equivalentes	5806	Unidades

Fuente: elaboración propia.

En el ambiente energético la madera es utilizada como biocombustible sólido y en este estudio podemos observar que con la producción de 30 mWh/año a través de los desechos sólidos producidos por la Granja Porcina podemos sustituir 5806 unidades de árboles por el biogás y CH4 producido por producidas de excreta y orina. tendríamos un equivalente en un ahorro de emisiones de CO2 de 4 ton/año y un ahorro energético primario de 14 mWh/año.

9.1. Presupuesto y evaluación financiera

En la Universidad de San Carlos de Guatemala se tienen asignado un 5 % constitucional del presupuesto nacional anual. Pero en los últimos años no se ha entregado puntual ni en su totalidad a pesar de ser un compromiso adquirido por el estado en la educación pública, y debido que el presupuesto de la Universidad en su mayoría se encuentra comprometido para el su funcionamiento se cuenta con muy pocos recursos para poder invertir en proyectos, por tal motivo se necesita de buscar un financiamiento que cubra con los costos de puesta en

operación de la planta de generación de energía eléctrica en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Tabla IX. Presupuesto de puesta en operación de planta de biogás en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Componente	Monto
Inversión	Q162 064
Planta de biogás	Q123 337
Equipos para valorización del gas	Q38 726
Otras inversiones	0
Gastos	Q 91 699
Explotación	Q4 609
Mano de obra	Q84 995
Logística	Q2 095
Explotación	Q4 609
Mano de obra	Q84 995
Logística	Q2 095

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 8, el recurso económico total para poner en operación la planta de biogás sería de Q253 763,00 con un tiempo de retorno de siete años y medio si siguiera el consumo anual de Q30 000. Y el tiempo de vida útil de una planta de biogás con biodigestores es de un promedio de 15 años para

biodigestores tubulares y de 25 años para biodigestores de domo fijo. Lo que vemos que es viable la ejecución de este proyecto.

CONCLUSIONES

1. La producción de excretas por semana se estimó en 384.45 kg con promedio diario de 54.9 kg, lo que nos daría un total de 20.02 ton/año, lo que es insuficiente para lograr generar el promedio anual de consumo energético de 30 mWh/año, ya que se necesita una dieta variada en los cerdos de la granja para lograr tener 78 ton/año de sustrato procesado. Por la orina dentro del biodigestor y la humedad de la excreta no se necesita la difusión de agua en la mezcla que contiene el biodigestor. Los días necesarios para lograr el proceso completo de generación de biogás y CH₄ son 47 días produciendo en ese tiempo 56 ton/año de digerido para uso agrícola, se logra generar 1,846 Normal Metro Cúbico de CH₄ y 2,967 Normal Metro Cúbico de biogás.
2. La inversión del proyecto es de Q253,763.00 en un tiempo de retorno de siete años y medio de continuar el consumo anual de Q30,000. El tiempo de vida útil de una planta de biogás con biodigestores es de un promedio de 15 años para biodigestores tubulares y de 25 años para biodigestores de domo fijo, con lo que se demuestra que es viable la ejecución de este proyecto.
3. La madera necesaria para producir los 30 mWh/año requeriría una cantidad de 5.806 unidades de árbol al utilizar la madera como biocombustible sólido, se tendrá un equivalente en un ahorro de emisiones de CO₂ de 4 ton/año y un ahorro energético primario de 14 mWh/año.

4. El plan de mantenimiento para el proceso de crianza y producción de cerdos debe de ser un mantenimiento conductivo con una inspección de encendido y apagado de los equipos de manera diaria, una inspección de luminarias trimestral, unas inspecciones termográficas anual, una inspección de instalaciones eléctricas anual y una sustitución de luminarias según necesidad.

RECOMENDACIONES

1. Cuadruplicar la población de cerdos en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia es indispensable para lograr generar las 78 toneladas de desechos sólidos necesarios para obtener los 30 mWh/año de energía eléctrica.
2. Buscar fuentes de financiamiento para lograr la implementación de la planta de biogás en la Granja Porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, ya que el presupuesto asignado a la Facultad es casi en su totalidad para el funcionamiento.
3. Tener en la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia otras unidades que integre aparte de la Granja Porcina una unidad de rastro, una unidad caprina, la unidad de ordeño y planta de lácteos y la unidad avícola para generar energía eléctrica a través de desechos sólidos producidos por cada unidad, y así lograr cubrir todas las necesidades energéticas de dicha facultad.

REFERENCIAS

1. Acevedo Garcés, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios*. (Tesis de Tecnólogo en Electrónica). Universidad Nacional Abierta y a distancia Cead José Acevedo y Gómez, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, Tecnología en Electrónica, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11834/10097742.pdf?sequence=1>
2. Bratu Serbán, N. (1995). *Instalaciones eléctricas conceptos básicos y diseño*. 2a ed. México: Alfaomega.
3. Calderón de León, P. A. (2014). *Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0451_MT.pdf
4. Calero Torres, D. A. y Nacimba Tipán, C. R. (2011). *Generación de gas metano a partir de desechos orgánicos y aplicación en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica*. (Tesis de Ingeniería Automotriz). Escuela Politécnica del Ejército, Departamento de Energía y Mecánica, Latacunga, Ecuador. Recuperado

de<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3814/1/T-ESPEL-0835.pdf>

5. Campos Cuní, B. (Abril-Junio, 2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20(2), 5. Recuperado de <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/83/84>
6. Medina Izaguirre, Z. I. y Luna Vega, 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*. (Tesis de licenciatura). Zamorano Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Honduras. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/414/1/T2864.pdf>
7. Menna, M.B., Branda, J.B., Murcia, G.J. y Garin, E. (2009). *Balance energético de un sistema combinado, biogás - eólico de pequeña potencia. Etapa de diseño Volumen (13)*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. Autor. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/97742/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Morales Perrazo, L. A. y Vásquez Cepeda, V. H. (2011). *Sistema de tratamiento de desechos biodegradables para generación de biogás en la Finca "San José" del cantón Shushufindi*. (Tesis de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización). Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador:

Autor. Recuperado de
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35>

9. Motta Villabona, L. A. y Pinzón Navarro, A. P. (2011). *Evaluación de la viabilidad financiera del aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos en Centroabastos S.A. para la generación de energía y compostaje para la empresa INCOM LTDA.* (Tesis de especialización en finanzas y negocios internacionales). Universidad de la Sabana, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/1686/Luz_Andrea_Motta_Villabona.pdf?sequence=1&isAllowed=y
10. Phels Dodge Pycsa, S.A. (1974). *Manual eléctrico.* 2a ed. México: PYCSA.
11. Sebastián Nogués, F., García Galindo, D. y Rezeau, A. (2010). *Energía de la biomasa volumen 1.* Zaragoza, España: Prensas Universitarias de Zaragoza.
12. Secretaría de Energía. (2009). *ENERGÍAS RENOVABLES. diagnóstico, barreras y propuestas.* Argentina: IRAP. Recuperado de <http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/novedades/EnergiasRenovables.pdf>
13. Unión de pequeños agricultores y ganaderos (UPA). *De tecnología de biogás, energía.* Recuperado de <https://www.upa.es/upa/inicio/>

APÉNDICE

Apéndice 1. Plan de mantenimiento de la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Operación	Periodicidad
Mantenimiento conductivo	
Inspección de encendido y apagado de los equipos	Diaria
Inspección de luminarias	Trimestral
Inspecciones termográficas	Anual
Inspección de instalaciones eléctricas	Anual
Sustitución de luminarias	Según necesidad
Localización y reparación de fallos	inmediata
Mantenimiento preventivo	
Limpieza de luminarias	Semestral
Reposición de luminarias	Según necesidad
Pintura de los elementos metálicos de los motores	Según necesidad
Limpieza y mantenimiento de equipo de cómputo	Anual
Mantenimiento de la planta telefónica	Anual

Continuación apéndice 1.

Mantenimientos de la planta de emergencia	Según especificaciones del manual
---	-----------------------------------

Mantenimiento modificativo

Instalación de microondas o refrigeradoras	Según necesidad
--	-----------------

Instalación de circuitería extra	Según necesidad
----------------------------------	-----------------

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Tipo de cambio: del 01/01/2019 al 01/01/2020 en Euro

Tipo de Cambio: Del 01/01/2019 al 01/01/2020 BANCO DE GUATEMALA

Euro

Fecha	Compra	Venta
2/1/2019	1.13830	1.13840
3/1/2019	1.13680	1.13690
4/1/2019	1.13620	1.13630
7/1/2019	1.14620	1.14620
8/1/2019	1.14290	1.14300
9/1/2019	1.14700	1.14710
10/1/2019	1.15240	1.15240
11/1/2019	1.14900	1.14900
14/1/2019	1.14630	1.14640
15/1/2019	1.14410	1.14410
16/1/2019	1.13950	1.13960
17/1/2019	1.13940	1.13950
18/1/2019	1.13980	1.13990
21/1/2019	1.13590	1.13590
22/1/2019	1.13430	1.13430

Continuación anexo 1.

23/1/2019	1.13560	1.13560
24/1/2019	1.13190	1.13200
25/1/2019	1.13650	1.13660
28/1/2019	1.14160	1.14170
29/1/2019	1.14250	1.14260
30/1/2019	1.14090	1.14100
31/1/2019	1.14950	1.14950
1/2/2019	1.14750	1.14760
4/2/2019	1.14480	1.14490
5/2/2019	1.14300	1.14300
6/2/2019	1.13880	1.13880
7/2/2019	1.13460	1.13470
8/2/2019	1.13440	1.13450
11/2/2019	1.13080	1.13080
12/2/2019	1.12930	1.12930
13/2/2019	1.12900	1.12900
14/2/2019	1.13020	1.13030
15/2/2019	1.12560	1.12560
18/2/2019	1.13220	1.13220
19/2/2019	1.13040	1.13040
20/2/2019	1.13370	1.13370
21/2/2019	1.13510	1.13510

Continuación anexo 1.

25/2/2019	1.13540	1.13550
26/2/2019	1.13610	1.13610
27/2/2019	1.13860	1.13870
28/2/2019	1.13860	1.13870
1/3/2019	1.13790	1.13790
4/3/2019	1.13380	1.13380
5/3/2019	1.13260	1.13270
6/3/2019	1.13020	1.13030
7/3/2019	1.12540	1.12540
8/3/2019	1.12270	1.12280
11/3/2019	1.12450	1.12450
12/3/2019	1.12750	1.12760
13/3/2019	1.13110	1.13120
14/3/2019	1.13030	1.13030
15/3/2019	1.13390	1.13390
18/3/2019	1.13440	1.13450
19/3/2019	1.13470	1.13470
20/3/2019	1.13560	1.13570
21/3/2019	1.13810	1.13810
22/3/2019	1.12900	1.12910
25/3/2019	1.13270	1.13280
26/3/2019	1.12920	1.12930

Continuación anexo 1.

28/3/2019	1.12350	1.12350
29/3/2019	1.12290	1.12290
1/4/2019	1.12290	1.12300
2/4/2019	1.11910	1.11920
3/4/2019	1.12290	1.12300
4/4/2019	1.12150	1.12160
5/4/2019	1.12260	1.12270
8/4/2019	1.12710	1.12710
9/4/2019	1.12790	1.12800
10/4/2019	1.12440	1.12440
11/4/2019	1.12710	1.12710
12/4/2019	1.13190	1.13190
15/4/2019	1.13040	1.13040
16/4/2019	1.12960	1.12970
17/4/2019	1.12930	1.12930
18/4/2019	1.12260	1.12350
19/4/2019	1.12400	1.12500
22/4/2019	1.12550	1.12550
23/4/2019	1.12100	1.12110
24/4/2019	1.11940	1.11940
25/4/2019	1.11520	1.11530
26/4/2019	1.11520	1.11520

Continuación anexo 1.

30/4/2019	1.12180	1.12190
1/5/2019	1.12370	1.12380
2/5/2019	1.11810	1.11820
3/5/2019	1.11840	1.11840
6/5/2019	1.11930	1.11930
7/5/2019	1.11840	1.11850
8/5/2019	1.12000	1.12010
9/5/2019	1.12430	1.12440
10/5/2019	1.12430	1.12440
13/5/2019	1.12570	1.12570
14/5/2019	1.12120	1.12120
15/5/2019	1.11860	1.11860
16/5/2019	1.11870	1.11870
17/5/2019	1.11660	1.11660
20/5/2019	1.11680	1.11690
21/5/2019	1.11520	1.11520
22/5/2019	1.11650	1.11650
23/5/2019	1.11420	1.11430
24/5/2019	1.11970	1.11970
27/5/2019	1.11920	1.11920
28/5/2019	1.11860	1.11860
29/5/2019	1.11490	1.11500

Continuación anexo 1.

31/5/2019	1.11690	1.11700
3/6/2019	1.12050	1.12050
4/6/2019	1.12490	1.12490
5/6/2019	1.12630	1.12630
6/6/2019	1.12730	1.12740
7/6/2019	1.13210	1.13210
10/6/2019	1.12920	1.12930
11/6/2019	1.13210	1.13220
12/6/2019	1.13170	1.13180
13/6/2019	1.12750	1.12760
14/6/2019	1.12420	1.12420
17/6/2019	1.12390	1.12400
18/6/2019	1.11880	1.11890
19/6/2019	1.12070	1.12080
20/6/2019	1.13020	1.13020
21/6/2019	1.13110	1.13120
24/6/2019	1.13830	1.13830
25/6/2019	1.13890	1.13900
26/6/2019	1.13600	1.13610
27/6/2019	1.13690	1.13690
28/6/2019	1.13810	1.13810
3/7/2019	1.12770	1.12780

Continuación anexo 1.

5/7/2019	1.12140	1.12140
8/7/2019	1.12140	1.12140
9/7/2019	1.12090	1.12100
10/7/2019	1.12440	1.12450
11/7/2019	1.12560	1.12560
12/7/2019	1.12480	1.12490
15/7/2019	1.12630	1.12630
16/7/2019	1.12190	1.12200
17/7/2019	1.12190	1.12200
18/7/2019	1.12180	1.12180
19/7/2019	1.12310	1.12310
22/7/2019	1.12220	1.12220
23/7/2019	1.11580	1.11590
24/7/2019	1.11540	1.11540
25/7/2019	1.11830	1.11840
26/7/2019	1.11310	1.11310
29/7/2019	1.11300	1.11300
30/7/2019	1.11410	1.11420
31/7/2019	1.11370	1.11380
1/8/2019	1.10480	1.10480
2/8/2019	1.11000	1.11000
5/8/2019	1.11880	1.11880

Continuación anexo 1.

7/8/2019	1.12230	1.12240
8/8/2019	1.12010	1.12010
9/8/2019	1.11930	1.11940
12/8/2019	1.12150	1.12160
13/8/2019	1.11930	1.11930
14/8/2019	1.11560	1.11560
16/8/2019	1.10710	1.10720
19/8/2019	1.11020	1.11020
20/8/2019	1.10860	1.10860
21/8/2019	1.10990	1.11000
22/8/2019	1.10930	1.10930
23/8/2019	1.10800	1.10800
26/8/2019	1.11170	1.11170
27/8/2019	1.11010	1.11020
28/8/2019	1.10810	1.10820
29/8/2019	1.10650	1.10660
30/8/2019	1.10410	1.10420
2/9/2019	1.09630	1.09630
3/9/2019	1.09680	1.09680
4/9/2019	1.10130	1.10130
5/9/2019	1.10650	1.10650
6/9/2019	1.10490	1.10490

Continuación anexo 1.

10/9/2019	1.10360	1.10360
11/9/2019	1.09900	1.09910
12/9/2019	1.10460	1.10460
13/9/2019	1.10670	1.10680
17/9/2019	1.10410	1.10410
18/9/2019	1.10570	1.10580
19/9/2019	1.10570	1.10580
20/9/2019	1.10150	1.10150
23/9/2019	1.09860	1.09870
24/9/2019	1.10110	1.10120
25/9/2019	1.09790	1.09790
26/9/2019	1.09600	1.09600
27/9/2019	1.09410	1.09410
30/9/2019	1.09070	1.09080
1/10/2019	1.09130	1.09140
2/10/2019	1.09430	1.09440
3/10/2019	1.09890	1.09900
4/10/2019	1.09670	1.09680
7/10/2019	1.09910	1.09920
8/10/2019	1.09700	1.09710
9/10/2019	1.09760	1.09770
10/10/2019	1.10190	1.10190

Continuación anexo 1.

14/10/2019	1.10240	1.10250
15/10/2019	1.10300	1.10300
16/10/2019	1.10470	1.10480
17/10/2019	1.11260	1.11260
18/10/2019	1.11400	1.11410
21/10/2019	1.11490	1.11510
22/10/2019	1.11350	1.11350
23/10/2019	1.11230	1.11230
24/10/2019	1.11140	1.11150
25/10/2019	1.10890	1.10900
28/10/2019	1.10890	1.10890
29/10/2019	1.11020	1.11030
30/10/2019	1.11160	1.11170
31/10/2019	1.11330	1.11340
1/11/2019	1.11630	1.11680
4/11/2019	1.11540	1.11540
5/11/2019	1.10970	1.10970
6/11/2019	1.10840	1.10840
7/11/2019	1.10630	1.10630
8/11/2019	1.10230	1.10240
11/11/2019	1.10360	1.10360
12/11/2019	1.10220	1.10230

Continuación anexo 1.

14/11/2019	1.10040	1.10040
15/11/2019	1.10440	1.10440
18/11/2019	1.10620	1.10630
19/11/2019	1.10820	1.10820
20/11/2019	1.10630	1.10630
21/11/2019	1.10780	1.10780
22/11/2019	1.10580	1.10580
25/11/2019	1.10130	1.10130
26/11/2019	1.10190	1.10200
27/11/2019	1.09990	1.09990
28/11/2019	1.10070	1.10070
29/11/2019	1.09920	1.09920
2/12/2019	1.10400	1.10400
3/12/2019	1.10750	1.10750
4/12/2019	1.11070	1.11070
5/12/2019	1.10930	1.10930
6/12/2019	1.10720	1.10730
9/12/2019	1.10750	1.10760
10/12/2019	1.10780	1.10790
11/12/2019	1.10960	1.10960
12/12/2019	1.11420	1.11420
13/12/2019	1.11650	1.11650

Continuación anexo 1.

17/12/2019	1.11470	1.11470
18/12/2019	1.11180	1.11180
19/12/2019	1.11220	1.11230
20/12/2019	1.10880	1.10890
23/12/2019	1.10820	1.10830
24/12/2019	1.10780	1.10790
26/12/2019	1.10970	1.10980
27/12/2019	1.11560	1.11560
30/12/2019	1.11950	1.11950
31/12/2019	1.12290	1.12290

Todos los valores de Compra y de Venta están expresados en unidades monetarias respecto a US\$1.00 Excepto la Libra Esterlina, EURO y DEG que están expresados en US\$.

Fuente: Banco de Guatemala. *valores de compra y venta*. Consultado el 20 de febrero de 2020.

Recuperado de <https://www.banguat.gob.gt/>.

Anexo 2. Tipo de cambio: Del 01/01/2019 al 01/01/2020 en Dólares de EE.UU.

Tipo de Cambio: Del 01/01/2019 al 01/01/2020 BANCO DE GUATEMALA

Dólares de EE.UU.

Fecha	TCR ^{1/}
1/1/2019	7.73695
2/1/2019	7.73248
3/1/2019	7.73020

Continuación anexo 2.	
4/1/2019	7.72824
5/1/2019	7.72824
6/1/2019	7.72824
7/1/2019	7.72825
8/1/2019	7.72670
9/1/2019	7.72707
10/1/2019	7.72621
11/1/2019	7.72582
12/1/2019	7.72582
13/1/2019	7.72582
14/1/2019	7.72847
15/1/2019	7.72379
16/1/2019	7.72622
17/1/2019	7.72311
18/1/2019	7.72226
19/1/2019	7.72226
20/1/2019	7.72226
21/1/2019	7.72376
22/1/2019	7.72366
23/1/2019	7.72459
24/1/2019	7.72765
25/1/2019	7.72917

Continuación anexo 2.	
26/1/2019	7.72917
27/1/2019	7.72917
28/1/2019	7.73199
29/1/2019	7.73738
30/1/2019	7.74444
31/1/2019	7.76425
1/2/2019	7.76239
2/2/2019	7.76239
3/2/2019	7.76239
4/2/2019	7.76260
5/2/2019	7.75934
6/2/2019	7.75849
7/2/2019	7.75362
8/2/2019	7.75143
9/2/2019	7.75143
10/2/2019	7.75143
11/2/2019	7.74481
12/2/2019	7.74786
13/2/2019	7.74271
14/2/2019	7.74017
15/2/2019	7.73771
16/2/2019	7.73771

Continuación anexo 2.	
17/2/2019	7.73771
18/2/2019	7.72983
19/2/2019	7.72228
20/2/2019	7.72134
21/2/2019	7.72108
22/2/2019	7.71924
23/2/2019	7.71924
24/2/2019	7.71924
25/2/2019	7.71361
26/2/2019	7.71091
27/2/2019	7.71045
28/2/2019	7.70778
1/3/2019	7.70445
2/3/2019	7.70445
3/3/2019	7.70445
4/3/2019	7.70537
5/3/2019	7.70243
6/3/2019	7.69940
7/3/2019	7.69823
8/3/2019	7.69653
9/3/2019	7.69653
10/3/2019	7.69653

Continuación anexo 2.	
11/3/2019	7.69333
12/3/2019	7.69438
13/3/2019	7.69433
14/3/2019	7.68603
15/3/2019	7.69214
16/3/2019	7.69214
17/3/2019	7.69214
18/3/2019	7.69154
19/3/2019	7.69039
20/3/2019	7.68898
21/3/2019	7.68497
22/3/2019	7.68067
23/3/2019	7.68067
24/3/2019	7.68067
25/3/2019	7.67577
26/3/2019	7.67909
27/3/2019	7.67690
28/3/2019	7.67920
29/3/2019	7.68104
30/3/2019	7.68104
31/3/2019	7.68104
1/4/2019	7.68031

Continuación anexo 2.	
2/4/2019	7.67452
3/4/2019	7.67399
4/4/2019	7.66934
5/4/2019	7.66855
6/4/2019	7.66855
7/4/2019	7.66855
8/4/2019	7.65806
9/4/2019	7.64809
10/4/2019	7.64366
11/4/2019	7.63603
12/4/2019	7.63445
13/4/2019	7.63445
14/4/2019	7.63445
15/4/2019	7.63429
16/4/2019	7.63108
17/4/2019	7.62817
18/4/2019	7.62817
19/4/2019	7.62817
20/4/2019	7.62817
21/4/2019	7.62817
22/4/2019	7.62409
23/4/2019	7.62187

Continuación anexo 2.	
24/4/2019	7.62239
25/4/2019	7.63297
26/4/2019	7.64411
27/4/2019	7.64411
28/4/2019	7.64411
29/4/2019	7.64411
30/4/2019	7.65219
1/5/2019	7.65228
2/5/2019	7.65683
3/5/2019	7.65718
4/5/2019	7.65718
5/5/2019	7.65718
6/5/2019	7.65604
7/5/2019	7.65644
8/5/2019	7.65613
9/5/2019	7.65443
10/5/2019	7.65614
11/5/2019	7.65614
12/5/2019	7.65614
13/5/2019	7.65274
14/5/2019	7.65357
15/5/2019	7.65370

Continuación anexo 2.	
16/5/2019	7.65714
17/5/2019	7.66162
18/5/2019	7.66162
19/5/2019	7.66162
20/5/2019	7.65827
21/5/2019	7.66192
22/5/2019	7.66578
23/5/2019	7.66830
24/5/2019	7.68075
25/5/2019	7.68075
26/5/2019	7.68075
27/5/2019	7.68826
28/5/2019	7.70055
29/5/2019	7.70191
30/5/2019	7.71248
31/5/2019	7.72270
1/6/2019	7.72270
2/6/2019	7.72270
3/6/2019	7.71675
4/6/2019	7.71465
5/6/2019	7.71156
6/6/2019	7.70950

Continuación anexo 2.	
7/6/2019	7.70576
8/6/2019	7.70576
9/6/2019	7.70576
10/6/2019	7.70183
11/6/2019	7.69664
12/6/2019	7.69365
13/6/2019	7.69442
14/6/2019	7.69462
15/6/2019	7.69462
16/6/2019	7.69462
17/6/2019	7.69217
18/6/2019	7.69626
19/6/2019	7.70029
20/6/2019	7.70266
21/6/2019	7.70228
22/6/2019	7.70228
23/6/2019	7.70228
24/6/2019	7.70543
25/6/2019	7.70907
26/6/2019	7.71227
27/6/2019	7.71455
28/6/2019	7.70823

Continuación anexo 2.	
29/6/2019	7.70823
30/6/2019	7.70823
1/7/2019	7.70823
2/7/2019	7.70823
3/7/2019	7.70168
4/7/2019	7.69571
5/7/2019	7.69476
6/7/2019	7.69476
7/7/2019	7.69476
8/7/2019	7.68757
9/7/2019	7.68019
10/7/2019	7.67423
11/7/2019	7.67558
12/7/2019	7.67850
13/7/2019	7.67850
14/7/2019	7.67850
15/7/2019	7.67090
16/7/2019	7.66706
17/7/2019	7.66775
18/7/2019	7.66198
19/7/2019	7.65753
20/7/2019	7.65753

Continuación anexo 2.	
21/7/2019	7.65753
22/7/2019	7.65107
23/7/2019	7.64833
24/7/2019	7.65113
25/7/2019	7.66257
26/7/2019	7.66851
27/7/2019	7.66851
28/7/2019	7.66851
29/7/2019	7.67950
30/7/2019	7.68197
31/7/2019	7.68161
1/8/2019	7.67597
2/8/2019	7.67201
3/8/2019	7.67201
4/8/2019	7.67201
5/8/2019	7.66470
6/8/2019	7.66258
7/8/2019	7.66260
8/8/2019	7.66488
9/8/2019	7.66499
10/8/2019	7.66499
11/8/2019	7.66499

Continuación anexo 2.	
12/8/2019	7.66867
13/8/2019	7.67125
14/8/2019	7.67325
15/8/2019	7.67325
16/8/2019	7.67226
17/8/2019	7.67226
18/8/2019	7.67226
19/8/2019	7.67135
20/8/2019	7.67255
21/8/2019	7.67146
22/8/2019	7.67178
23/8/2019	7.67193
24/8/2019	7.67193
25/8/2019	7.67193
26/8/2019	7.66866
27/8/2019	7.66837
28/8/2019	7.67421
29/8/2019	7.67454
30/8/2019	7.68091
31/8/2019	7.68091
1/9/2019	7.68091
2/9/2019	7.68019

Continuación anexo 2.	
3/9/2019	7.68046
4/9/2019	7.68107
5/9/2019	7.68209
6/9/2019	7.68584
7/9/2019	7.68584
8/9/2019	7.68584
9/9/2019	7.69980
10/9/2019	7.70358
11/9/2019	7.70908
12/9/2019	7.70894
13/9/2019	7.70732
14/9/2019	7.70732
15/9/2019	7.70732
16/9/2019	7.70732
17/9/2019	7.70325
18/9/2019	7.70283
19/9/2019	7.70525
20/9/2019	7.71186
21/9/2019	7.71186
22/9/2019	7.71186
23/9/2019	7.71494
24/9/2019	7.72059

Continuación anexo 2.	
25/9/2019	7.72266
26/9/2019	7.72934
27/9/2019	7.73170
28/9/2019	7.73170
29/9/2019	7.73170
30/9/2019	7.73551
1/10/2019	7.73978
2/10/2019	7.75378
3/10/2019	7.75781
4/10/2019	7.77061
5/10/2019	7.77061
6/10/2019	7.77061
7/10/2019	7.77457
8/10/2019	7.77628
9/10/2019	7.77890
10/10/2019	7.77815
11/10/2019	7.77815
12/10/2019	7.77815
13/10/2019	7.77815
14/10/2019	7.77186
15/10/2019	7.77059
16/10/2019	7.77368

Continuación anexo 2.	
17/10/2019	7.77316
18/10/2019	7.77074
19/10/2019	7.77074
20/10/2019	7.77074
21/10/2019	7.77074
22/10/2019	7.76690
23/10/2019	7.76558
24/10/2019	7.76327
25/10/2019	7.75533
26/10/2019	7.75533
27/10/2019	7.75533
28/10/2019	7.74661
29/10/2019	7.73503
30/10/2019	7.72046
31/10/2019	7.71001
1/11/2019	7.71001
2/11/2019	7.71001
3/11/2019	7.71001
4/11/2019	7.70849
5/11/2019	7.69841
6/11/2019	7.69492
7/11/2019	7.69473

Continuación anexo 2.	
8/11/2019	7.69679
9/11/2019	7.69679
10/11/2019	7.69679
11/11/2019	7.70291
12/11/2019	7.71584
13/11/2019	7.70927
14/11/2019	7.71191
15/11/2019	7.70808
16/11/2019	7.70808
17/11/2019	7.70808
18/11/2019	7.70387
19/11/2019	7.70350
20/11/2019	7.70272
21/11/2019	7.70112
22/11/2019	7.70744
23/11/2019	7.70744
24/11/2019	7.70744
25/11/2019	7.70396
26/11/2019	7.70340
27/11/2019	7.70171
28/11/2019	7.70196
29/11/2019	7.70254

Continuación anexo 2.	
30/11/2019	7.70254
1/12/2019	7.70254
2/12/2019	7.69993
3/12/2019	7.69237
4/12/2019	7.68731
5/12/2019	7.68281
6/12/2019	7.67960
7/12/2019	7.67960
8/12/2019	7.67960
9/12/2019	7.67369
10/12/2019	7.66967
11/12/2019	7.66848
12/12/2019	7.67130
13/12/2019	7.67979
14/12/2019	7.67979
15/12/2019	7.67979
16/12/2019	7.68029
17/12/2019	7.68477
18/12/2019	7.68321
19/12/2019	7.68863
20/12/2019	7.69450
21/12/2019	7.69450

Continuación anexo 2.	
22/12/2019	7.69450
23/12/2019	7.70124
24/12/2019	7.70300
25/12/2019	7.70300
26/12/2019	7.69934
27/12/2019	7.69862
28/12/2019	7.69862
29/12/2019	7.69862
30/12/2019	7.69884
31/12/2019	7.69884
1/1/2020	7.69884
Valores expresados en Quetzales	
1/ Tipo de Cambio de referencia calculado conforme resolución JM-126-2006	

Fuente: Banco de Guatemala. *valores*. Consultado el 20 de febrero de 2020. Recuperado de <https://www.banguat.gob.gt/>.