

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Tesis previa a la obtención del título de:**

**INGENIERO ELÉCTRICO**

**Tesis previa a la obtención del título de:**

**INGENIERA ELÉCTRICA**

**TEMA:**

**ESTUDIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DEL  
BIOGÁS DE UNA GRANJA PORCINA UBICADA EN LA CIUDAD DE  
AZOGUES**

**AUTORES:**

**MARIO VINICIO BACULIMA PINTADO  
GABRIELA CATALINA ROCANO TENEZACA**

**DIRECTOR:**

**ING. JORGE LUIS ROJAS ESPINOZA**

**Cuenca, enero de 2015**

## Declaratoria de responsabilidad

Nosotros autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Cuenca, enero 23 de 2015



-----

Mario Vinicio Baculima Pintado

0104428248



-----

Gabriela Catalina Rocano Tenezaca

0301582474

## **CERTIFICACIÓN**

El presente trabajo de tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico fue guiado satisfactoriamente por el Ing. Jorge Rojas Espinoza, quien autoriza su presentación para continuar con los trámites correspondientes.



Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza

**DIRECTOR DE TESIS**

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

### ***Dedicatoria***

Dedico en primer lugar a Dios por darme la vida, por ser quien guía mi camino, por brindarme la sabiduría para tomar decisiones en el transcurso del tiempo y la fortaleza para afrontar nuevos retos.

A mis padres Miguel y Raquel por sus consejos para la vida personal y profesional, apoyo incondicional en buenos y malos momentos, por poner su confianza en mi persona, al dejarme una de las mejores herencias como es la educación, a mis hermanos Santiago y Gabriela, familia en general por su apoyo y consejos.

A todos mis amigos con quienes he compartido el tiempo académico y de cierta manera aportar con información para la realización del proyecto, ya que diariamente se comparte información y se tiene nuevos conocimientos con ellos y compartir buenos y malos momentos, esperando que la amistad perdure con el pasar de los tiempos.

### ***Agradecimientos***

Principalmente a Dios por concederme la oportunidad de culminar una de las metas aspiradas, a mi familia y a mis padres Miguel y Raquel por su apoyo en mis estudios.

A los docentes de la universidad que en el transcurrir del tiempo me han brindado sus consejos, conocimientos y experiencias, al Ing. Jorge Rojas quien dedicó su tiempo para orientar y guiar este proyecto.

*“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”*

*-Albert Einstein-*

***Mario Vinicio***

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

*El esfuerzo, la dedicación y la perseverancia de mi vida universitaria quedarán plasmados en este proyecto de tesis.*

### ***Dedicatoria***

Esté proyecto va dedicado con todo mi amor a la persona que llena de felicidad mi vida, mi ángel guardián mi hijo Gabriel Sebastián (+), a Dios por brindarme vida y salud, de igual manera a mis padres Dolores y Gonzalo por su amor y dedicación, a mis hermanos y sobrinos por su apoyo en el transcurso de este tiempo.

A todos mis amigos con quienes compartimos grandes momentos en mi vida universitaria.

### ***Agradecimientos.***

Agradezco infinitamente a Dios por concederme la sabiduría, fortaleza y guiarme en este camino universitario, a mis padres por ser el pilar fundamental en mi vida, de lucha y constancia para conseguir lo que se proponen, a mis hermanos, sobrinos y demás familiares que me brindaron su apoyo para culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria.

A los docentes de esta institución quienes aportaron con conocimientos intelectuales y me brindaron su amistad. Al ingeniero Jorge Rojas por el tiempo dedicado para culminar este proyecto de tesis.

***Gabriela Catalina***

## **GRATITUD**

Nuestros sinceros agradecimientos al docente director de tesis, Ing. Jorge Rojas Espinoza, por brindarnos su apoyo y amistad, al aportar comentarios y sugerencias, para la culminar satisfactoriamente el proyecto.

Los Autores

*“Si una persona es perseverante, aunque sea  
dura de entendimiento, se hará inteligente; y  
aunque sea débil se transformará en fuerte”*

***-Leonardo da Vinci-***

## Índice

<b>Declaratoria de responsabilidad .....</b>	<b>I</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>Dedicatoria y Agradecimientos .....</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria y Agradecimientos .....</b>	<b>IV</b>
<b>GRATITUD .....</b>	<b>V</b>
Índice.....	VII
Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas .....	XIII
Índice de Anexos.....	XIV
Índice de Ecuaciones.....	XIV
Abreviaturas .....	XV
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>ESTUDIO DEL ARTE DE LA BIOMASA .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción a la Biomasa.....	1
1.1.1 Definición de Biomasa .....	1
1.1.2 Historia .....	1
1.1.3 Procedencia de la Biomasa.....	2
1.1.3.1 Biomasa natural: .....	2
1.1.3.2 Biomasa Residual: .....	2
1.1.3.3 Cultivos Energéticos:.....	3
1.2 Características energéticas de la biomasa .....	4
1.2.1 Conversión Termoquímica .....	5
1.2.1.1 Combustión.....	5
1.2.1.2 Gasificación .....	5
1.2.1.3 Pirolisis .....	5
1.2.2 Conversión Bioquímica .....	6
1.2.3 Contenido Energético de la Biomasa .....	6
1.3 Biomasa Residual Húmeda .....	6
1.4 Utilización de la biomasa residual húmeda.....	8

1.5 Uso de la Biomasa como fuente de Energía.....	8
1.5.1 Generación de energía eléctrica basada en biomasa.....	9
1.6 Generación con biomasa en Ecuador .....	10
1.6.1 Estado actual de energía eléctrica en Ecuador .....	10
1.6.2 Plan de expansión de generación por tipo de tecnología.....	11
1.6.3 Proyectos de generación con biomasa en operación y en estudio en Ecuador .....	12
1.6.3.1 Proyectos en operación .....	12
1.6.3.2 Proyectos en ejecución y estudio .....	13
1.6.4 Proyecto propuesto .....	14
1.6.4.1 Características de la granja porcina .....	15
1.6.4.2 Cantidad de animales en la granja .....	17
1.6.4.2 Factores para determinar el volumen de estiércol .....	19
1.7 Ventajas y desventajas .....	19
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>21</b>
<b>TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL BIODIGESTOR.....</b>	<b>21</b>
2.1 El biogás.....	21
2.1.1 Procesos de biodigestión .....	21
2.1.1.1 Proceso de digestión aeróbica.....	21
2.1.1.2 Proceso anaeróbico .....	22
2.1.2 Principales etapas de la descomposición anaerobia .....	23
2.1.2.1 Etapa Hidrolítica .....	23
2.1.2.2 Etapa Acido-génica .....	23
2.1.2.3 Etapa Acetogénica .....	23
2.1.2.4 Etapa Metanogénica.....	24
2.1.3 Factores del proceso microbiológico.....	24
2.1.3.1 Concentración de oxígeno .....	24
2.1.3.2 Temperatura .....	24
2.1.3.3 Potencial de Hidrógeno.....	25
2.1.3.4 Nutrientes y Compuestos Inhibidores.....	25
2.1.4 Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás.....	26
2.1.4.1 Beneficios en Protección Ambiental.....	26
2.1.4.2 Beneficios en Fertilización Orgánica.....	26

2.1.4.3 Beneficios Económicos y Sociales .....	27
2.2 Aplicaciones del biogás.....	27
2.2.1 Generación de energía eléctrica.....	29
2.3 Qué es un biodigestor.....	30
2.4 Características de los biodigestores .....	31
2.5 Constitución de un biodigestor.....	31
2.5.1 Cámara de digestión .....	31
2.5.2 Conducto de largo .....	31
2.5.3 Gasómetro .....	31
2.5.4 Sistema de purificación del biogás .....	32
2.6 Tipos de biodigestores .....	32
2.6.1 Pozo sépticos .....	32
2.6.2 Biodigestor de domo flotante (Indio) .....	33
2.6.3 Biodigestor de estructura flexible.....	33
2.6.4 Digestor flotante .....	34
2.6.5 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno	34
2.7 Conversión del biogás en energía eléctrica.....	35
2.7.1 Micro turbina.....	35
2.7.2 Motores a gasolina.....	36
2.7.3 Motores a diésel.....	36
2.7.4 Motores a gas.....	37
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>38</b>
<b>DIMENSIONAMIENTOS DE EQUIPOS PARA EL BIODIGESTOR Y</b>	<b>38</b>
<b>ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA.....</b>	<b>38</b>
3.1 Cálculo de la demanda eléctrica de la granja porcina .....	38
3.1.1 Carga Actual.....	38
3.1.2 Proyección de la demanda .....	40
3.2 Cuantificación de los desechos de la granja porcina.....	42
3.2.1 Diseño y construcción del Biodigestor.....	44
3.2.1.1 Diseño del biodigestor .....	45
3.2.1.2 Construcción del biodigestor .....	48
3.3 Medición de la cantidad de biogás generado por los desechos.....	53
3.3.1 Cantidad de biomasa introducida en el biodigestor.....	53

3.3.2 Presión y temperatura del biodigestor .....	55
3.4 Determinación de la energía eléctrica generada por el biogás. ....	61
3.5 Estimación de la demanda eléctrica abastecida por el aprovechamiento del biogás. .....	61
3.5.1 Volumen del biodigestor VD .....	62
3.5.2 Escenario 1: Demanda 2,41KWh/día, para el año 2015.....	63
3.5.3 Escenario 2: Demanda 3,1KWh/día, para el año 2017.....	64
3.5.4 Selección del tipo de biodigestor.....	66
3.6 Selección del Equipo Generador de Energía Eléctrica. ....	66
3.7 Equipamiento .....	67
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>74</b>
<b>ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO .....</b>	<b>74</b>
4.1 Factores técnicos involucrados en el análisis financiero.....	74
4.1.4 Costos .....	74
4.1.4.1 Costos fijos y variables .....	74
4.1.4.2 Costos directos e indirectos. ....	74
4.1.4.3 Inversión del proyecto .....	74
4.1.4.4 Estimación de ingresos anuales del proyecto .....	75
4.2 Parámetros financieros .....	76
4.2.1 Valor actual neto (VAN) .....	76
4.2.2 Tasa interna de retorno (TIR) .....	77
4.2.3 Cálculo del TIR y VAN para el proyecto de tesis .....	77
4.3 Análisis de resultados.....	77
<b>4.4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>4.5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>4.6 REFERENCIAS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Procedencia de la Biomasa .....	4
Figura 2: Características Energéticas de la Biomasa .....	4
Figura 3: Tratamiento biomasa húmeda.....	7
Figura 4: Biomasa residual húmeda.....	7
Figura 5: Rutas de la energía de la biomasa.....	9
Figura 6: Composición de la generación por tipo de tecnología (GWh) .....	11
Figura 7: Composición de la generación por tipo de tecnología (GWh) .....	12
Figura 8: Ubicación de la granja porcina .....	15
Figura 9: Granja porcina en estudio .....	16
Figura 10: Celdas de la granja porcina.....	17
Figura 11: Biomasa Desechada.....	18
Figura 12: Población de cerdos .....	18
Figura 13: Etapas de la Digestión Anaeróbica.....	22
Figura 14: Temperaturas del proceso de digestión anaerobia.....	25
Figura 15: Equivalencia de biogás .....	28
Figura 16: Consumo de biogás Fuente: (Gilbert).....	29
Figura 17: Proceso de producción de biogás.....	30
Figura 18: Pozo Séptico .....	33
Figura 19: Biodigestor de domo flotante (Indio) .....	33
Figura 20: Biodigestor de estructura flexible.....	34
Figura 21: Digestor Flotante .....	34
Figura 22: Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno .....	35
Figura 23: Comportamiento de la demanda para el año 2014 .....	40
Figura 24: Proyección de la demanda .....	41
Figura 25: Cerdos de diferente tamaño .....	42
Figura 26: Estimación del peso de biomasa.....	43
Figura 27: Carretilla con biomasa.....	43
Figura 28: Caneca de 5 galones con biomasa .....	44
Figura 29: Diseño del biodigestor .....	45

Figura 30: Partes y medidas del biodigestor .....	46
Figura 31: Diseño en 3D .....	47
Figura 32: Presentación del biodigestor .....	47
Figura 33: Llave de salida de lodos .....	48
Figura 34: Desfogue de Biomasa .....	49
Figura 35: Alimentación del biodigestor.....	49
Figura 36: Reducción de la alimentación.....	50
Figura 37: Salida de biogás y Manómetro .....	50
Figura 38: Ubicación del “zincho”.....	51
Figura 39: Forrado de Biodigestor .....	52
Figura 40: Medidor de temperatura.....	52
Figura 41: Partes del biodigestor.....	53
Figura 42: Mezcla de biomasa y agua.....	54
Figura 43: Llenado de mezcla agua y biomasa .....	55
Figura 44: Curva de generación de biogás .....	57
Figura 45: Medición de PH.....	57
Figura 46: Motor generador .....	66
Figura 47: Equipamiento.....	68
Figura 48: Diseño general del sistema de generación en la granja .....	71
Figura 49: Diseño general del sistema de generación en la granja .....	72
Figura 50: Switch industrial.....	73

## Índice de Tablas

Tabla 1: Contenido energético de algunos recursos de biomasa residual húmeda .....	6
Tabla 2: Dimensiones de la granja porcina .....	16
Tabla 3: Ganado porcino existente.....	17
Tabla 4: Factores para determinar el volumen de estiércol.....	19
Tabla 5: Alimento durante el periodo de crecimiento.....	19
Tabla 6: Componentes del biogás .....	21
Tabla 7: Equipos instalados .....	38
Tabla 8: Consumo de energía eléctrica mensual.....	39
Tabla 9: Análisis de proyección de la demanda.....	41
Tabla 10: Cantidades de medición de biomasa .....	43
Tabla 11: Recolección de biomasa.....	44
Tabla 12: Descripción de partes del biodigestor .....	46
Tabla 13: Temperatura y presión diaria .....	56
Tabla 14: Nivel de PH de muestras.....	58
Tabla 15: Cantidad de BO de residuos orgánicos .....	59
Tabla 16: Resultados del escenario 1 y 2 respectivamente .....	65
Tabla 17: Componentes principales .....	67
Tabla 18: Dimensiones del biodigestor.....	69
Tabla 19: Inversión del proyecto.....	75
Tabla 20: Valor de energía eléctrica no facturada en 10 años .....	76
Tabla 21: Cálculo del TIR Y VAN .....	77

## Índice de Anexos

ANEXO 1: Mapa de concentración de cabezas de ganado porcino según provincias del Ecuador .....	86
ANEXO 2: Población de cerdos .....	87
ANEXO 3: Consumo Energético Empresa Eléctrica Azogues .....	88
ANEXO 4: Lista de Materiales del biodigestor .....	89
ANEXO 5: Medición de PH .....	90
ANEXO 6: Tabla de conductores .....	91

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Demanda futura .....	40
Ecuación 2: Volumen del cilindro.....	54
Ecuación 3: Fórmula de los gases ideales .....	58
Ecuación 4: Volumen del Metano.....	60
Ecuación 5: Volumen del Biodigestor .....	62
Ecuación 6: Fórmula del VAN.....	76

## Abreviaturas

KWh	kilowatt hora
Kg	kilogramo
CH <sub>4</sub>	Fórmula química del gas metano
CO <sub>2</sub>	Fórmula química del dióxido de carbono
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
EEA	Empresa Eléctrica Azogues C.A.
GWh	Giga-vatio hora
MW	Megavatio
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
OHSAS	Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional
CIE	Corporación para la Investigación Energética
m	Unidad de medida de metros lineales
N <sub>2</sub>	Fórmula química del Nitrógeno de gas
O <sub>2</sub>	Fórmula química del Oxígeno
H <sub>2</sub>	Fórmula química del Hidrógeno
CO	Fórmula química del Monóxido de Carbono
H <sub>2</sub> S	Fórmula química del Ácido Sulfúrico
ppm	Partes por millón
°C	Unidad de medida de temperatura en grados centígrados
PH	Potencial de Hidrógeno
m <sup>3</sup>	Unidad de medida de metros cúbico
PVC	Poli cloruro de vinilo
Lbs	Unidad de peso en libras
GLP	Gas licuado de petróleo

## INTRODUCCIÓN

La biomasa es un recurso natural que se encuentra en la materia orgánica y es de fácil obtención, que en la actualidad está siendo usado para generar energía eléctrica.

A nivel mundial se están implementando proyectos de generación eléctrica mediante el uso de biomasa, estos proyectos cumplen con las normas ambientales, sociales y económicas requeridas para preservar la naturaleza.

En la actualidad el abastecimiento energético del Ecuador proviene de energías fósiles y renovables convencionales (hidroeléctricas). Debido al crecimiento de la demanda se están implementando nuevos sistemas de generación, en los cuales se incentiva a la generación de energías no convencionales o renovables, entre ellos proyectos basados en el uso de biomasa.

Muchas provincias del Ecuador no tienen plantas de tratamiento de biomasa, por lo cual se están desperdiciando anualmente una cantidad significativa de este recurso que debería ser usado para generar diferentes tipos de energía, especialmente en zonas rurales.

El propósito de este proyecto de tesis es enfatizar el estudio de generación eléctrica más limpia y amigable con el medio ambiente, mediante el aprovechamiento del biogás obtenido a partir de la biomasa residual húmeda (estiércol de cerdo) que se genera en una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues sector Zhizhiquín.

Se cuantificará la cantidad de biogás que se producirá a partir de la cantidad del recurso primario que se genera diariamente, y se determinarán las características técnicas y financieras para definir su factibilidad de implementación.

# CAPÍTULO 1

## ESTUDIO DEL ARTE DE LA BIOMASA

### 1.1 Introducción a la Biomasa

#### 1.1.1 Definición de Biomasa

En términos generales se entiende por biomasa a todo material que proviene de un organismo vivo que sirve como fuente de energía, o también como la materia orgánica que se encuentra en todo lo que nos rodea, la cual proviene de fuentes de origen animal o vegetal (árboles, plantas, desechos de animales, residuos urbanos, desechos agrícolas), es un recurso energético que a diferencia de los demás es considerada como energía renovable ya que su valor energético es proveniente del sol, en otros términos la biomasa procede de la captación y transformación de la energía solar convertida por la vegetación a través del proceso de fotosíntesis. (Central, 2002) (Cabello Quiñonez, 2006)

#### 1.1.2 Historia

Desde los inicios de la humanidad el ser humano ha hecho uso de la biomasa, la combustión directa es el modo más común de aprovechar el mencionado recurso, es decir, se emplea para producir calor por medio de la incineración de la materia y así satisfacer necesidades básicas como es la cocción de alimentos, calefacción, etc, la leña era el principal recurso energético hasta mediados del siglo XIX, seguido por el carbón el cual se encuentra incluido en la revolución industrial a finales del siglo XVIII, el carbón fue sustituido por el petróleo el cual es formado por residuos orgánicos fosilizados, los últimos recursos son considerados como naturaleza limitada lo que quiere decir que en días futuros las posibilidades de explotación serán escasas.

Con el desarrollo de la humanidad nacen las necesidades de crear objetos como cerámica, metales, y emplear máquinas de vapor, las cuales requerían mayor cantidad de energía para poder ser realizadas, desde esos instantes se empezaron a emplear otras fuentes de energía más intensas las cuales debían tener un mayor poder calorífico, razón por la cual el uso de biomasa primitiva fue reducida, y se hizo uso del petróleo y sus derivados para cubrir las necesidades de los seres humanos. (Renovables, 2008)

### 1.1.3 Procedencia de la Biomasa

Dependiendo de la fuente de procedencia existen diferentes tipos de biomasa que son utilizados para suministrar energía eléctrica, entre ellos se tiene los siguientes:

**1.1.3.1 Biomasa natural:** es aquella que se produce sin intervención humana y no involucra ningún proceso que intervenga para su obtención, es decir, en ecosistemas naturales. (Castells, 2004, pág. 748)

**1.1.3.2 Biomasa Residual:** este tipo de biomasa se encuentra en diversas fuentes, y son generados en las actividades de producción, transformación y consumo, es decir, se obtiene como un subproducto de un determinado proceso, como se describen a continuación:

- a) **Residuos Forestales:** Hace referencia a toda la materia orgánica que proviene de un ecosistema forestal o bosques, ya sean por tratamientos selvícolas, incendios forestales de lo cual se genera subproductos que tienen un potencial energético. Los residuos generados en las acciones de limpieza, poda, corta de los montes pueden emplearse para fines energéticos dadas sus excelentes características como combustibles.

En la mayoría de los casos los residuos generados son árboles de pequeños tamaños, ramas, hojas, etc. También se encuentran los residuos de industrias forestales, como: fábricas de papel, de muebles, aserraderos, etc., de los que se obtiene aserrín, viruta, astillas, etc. (Pérez, 2001, pág. 158) (Nogués, 2010, pág. 29)

- b) **Residuos Agrícolas:** Este tipo de biomasa es resultado de la actividad agrícola, de la cual resulta gran cantidad de residuos, dichos residuos resultan de cultivos herbáceos en la cual se considera la paja de cereal (trigo, cebada, centeno, etc.) la caña de maíz y girasol y la paja de arroz. Entre los residuos agrícolas también se encuentran los residuos leñosos, de los cuales se obtiene ramas, hojas secas, etc.

También se consideran los residuos de industrias agrícolas en los que constituyen o resultan frutos no aptos para su consumo o comercialización, ya sea también subproductos del proceso de manipulación o fabricación (hojas, orujos, pulpas). (Castells, 2004, pág. 748) (Nogués, 2010, pág. 31)

- c) **Residuos Biodegradables:** Se entiende por residuo biodegradable a elementos que se descomponen bajo condiciones naturales debido a la acción de agentes biológicos como microorganismos, animales, plantas y hongos. En este tipo de residuo también se considera a las deposiciones de animales que encuentran en una granja, de los cuales se puede obtener estiércol, purines, entre otros. (Pérez, 2001, p. 163) (Castells, 2004, p. 748)

**1.1.3.3 Cultivos Energéticos:** Este tipo de recurso tiene como propósito general obtener la máxima cantidad de energía por unidad de superficie, en la cual se emplean considerables hectáreas de terrenos para los cultivos energéticos, dichos cultivos dependiendo de su localidad se deben considerar parámetros importantes para su correcto aprovechamiento, entre ellos puede ser que no cause impactos ambientales a la zona, facilidad de cultivo, alta producción con bajos costes, entre otros.

Dependiendo de la orientación que se desee dar a la biomasa producida por cultivos energéticos se distingue entre el aprovechamiento de la planta en general o el uso de sus semillas en particular, como para la producción de biocombustibles para lo cual se emplea la biomasa con gran cantidad de lignocelulósica, entre este tipo de biomasa se encuentra a los cultivos herbáceos y forestales. Para la obtención de biocarburantes a partir de cultivos energéticos se utiliza la extracción de aceite de semillas, de las cuales dependiendo su constitución propia pueden dar lugar a la elaboración de bioetanol y derivados. Las especies que contienen contenido de azúcar para la producción de bioetanol en sus semillas se encuentra maíz, sorgo dulce, caña de azúcar, entre otros, de la misma manera las especies que contienen aceite en sus semillas se encuentra el girasol, soja, colza, etc. (Pérez, 2001, pág. 167) (Castells, 2004, pág. 748)

De los tipos de biomasa que se han descrito, se presenta un esquema generalizado en la Figura 1.

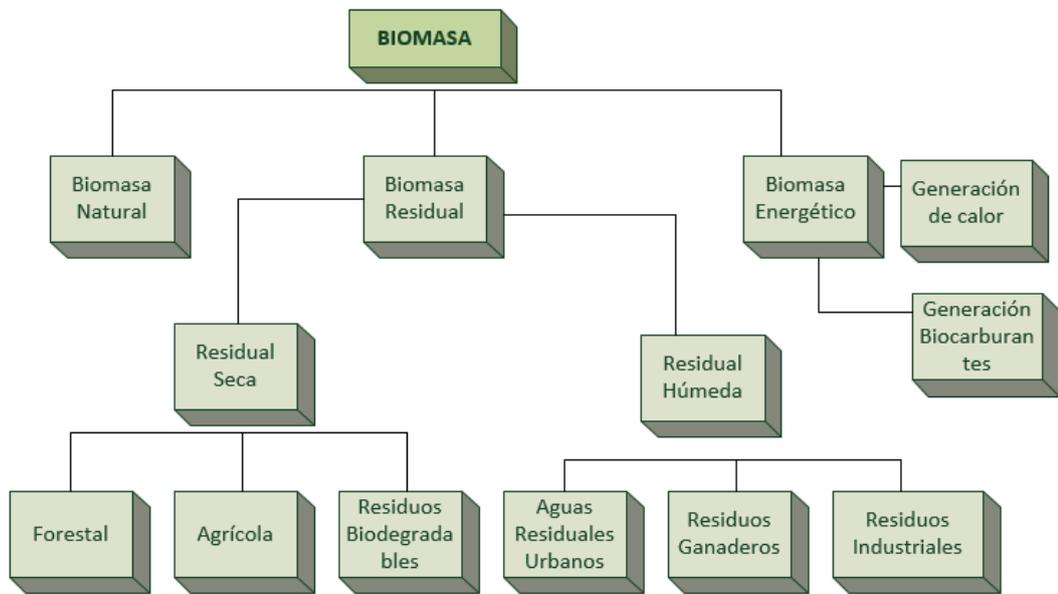


Figura 1: Procedencia de la Biomasa

Fuente: (Pérez, 2001)

## 1.2 Características energéticas de la biomasa

Para casos de estudio la biomasa desde la perspectiva energética se la divide en grandes grupos que se presentan en la Figura 2.

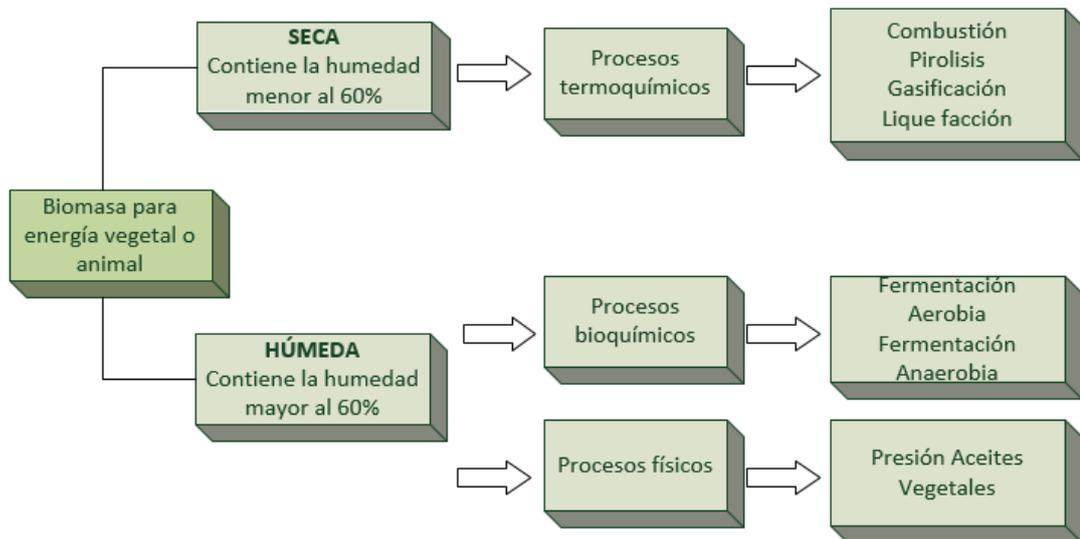


Figura 2: Características Energéticas de la Biomasa

Fuente: (Renovables, 2008)

La biomasa tiene que pasar por determinados procesos para poder hacer uso de ella con fines energéticos, dichos procesos son termoquímicos y bioquímicos facilitan la utilización y el transporte de los subproductos de la biomasa.

### **1.2.1 Conversión Termoquímica**

Se basa en la descomposición de la biomasa por la intervención del calor, la cual es transformada en subproductos obteniéndose diferentes cantidades de productos sólidos, líquidos y gaseosos. Los procesos termoquímicos se encuentran la combustión, gasificación y pirolisis. (Renovables, 2008)

#### **1.2.1.1 Combustión**

No se requiere de un tratamiento previo que sea complejo, ya que la combustión es directa y se utiliza para obtener energía térmica y la generación de calor para usos domésticos o industriales para la cocción de alimentos, calefacción, generar vapor por la intervención de una caldera. (Renovables, 2008)

#### **1.2.1.2 Gasificación**

Reside en la incineración controlada de la biomasa con la presencia del oxígeno con la finalidad de obtener un gas combustible conocido como “gas pobre” por contener un contenido calórico bajo en relación al gas natural, el gas pobre se puede quemar en un recipiente cerrado el cual recibe el nombre de gasógeno en el que se introduce el gas y una determinada cantidad de aire y se obtiene energía térmica y puede ser empleado en una caldera para generar vapor o tiene la característica de ser empleado en motor de combustión interna. (Renovables, 2008)

#### **1.2.1.3 Pirolisis**

Se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa de la que se extrae una combinación variable de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. Siendo el carbón vegetal el principal producto de la pirolisis el cual tiene un alto poder calorífico y un peso menor para una cantidad igual de energía lo que facilita su manipulación en grandes cantidades. (Renovables, 2008)

### 1.2.2 Conversión Bioquímica

Se fundamentan en la degradación de la biomasa por la gestión de microorganismos los que se dan por medio de procesos con oxígeno conocidos como aeróbicos y sin oxígeno conocidos como anaerobios. (Renovables, 2008)

### 1.2.3 Contenido Energético de la Biomasa

El contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico inferior (PCI) del recurso, aunque para la biomasa residual húmeda se mide en función del biogás que se obtiene de su digestión anaerobia. En la Tabla 1 se muestra el potencial medio energético de algunos recursos. (Ciclo Energías Renovables, Jornadas de Biomasa. Fundación CIRCE, 2002)

Para la mayoría de los residuos biomásicos puede realizarse una estimación de 1kWh generado por cada kg de residuo. (Ciclo Energías Renovables, Jornadas de Biomasa. Fundación CIRCE, 2002)

Sustrato	30°C en l/kg de residuo seco	Metano	P.C.I (Kcal/m <sup>3</sup> N) de biogás
Estiércol con paja	286	75	6100
Excrementos de vaca	237	80	6500
Excrementos de cerdos	257	81	6600
Agua residual urbana	100 (por m <sup>3</sup> de agua tratado)	65	5300

Tabla 1: Contenido energético de algunos recursos de biomasa residual húmeda

Fuente: (Ciclo Energías Renovables, Jornadas de Biomasa. Fundación CIRCE, 2002)

### 1.3 Biomasa Residual Húmeda

Biomasa residual húmeda es aquella que tiene un porcentaje de humedad superior al 60%, es ideal tanto para procesos químicos o físicos de la cual se adquiere combustibles líquidos y gaseosos. Se obtiene de todos los flujos residuales de origen orgánico ya sea humano o animal, como resultado de biomasa de origen humano se tiene: aguas residuales urbanas, residuos industriales biodegradables y desechos sólidos urbanos, que son sometidos a un tratamiento de secado previo a su uso ya que estos contienen una gran cantidad de humedad. En la Figura 3 se aprecia el tratamiento que se le puede dar a la biomasa húmeda.

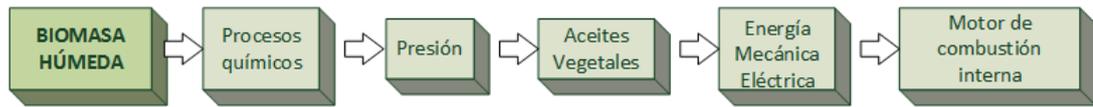


Figura 3: Tratamiento biomasa húmeda

Fuente: (Renovables, 2008)

La biomasa residual húmeda de origen animal es aquella que se obtiene en instalaciones agropecuarias Figura 4, debido al alto contenido de metano que contiene esta materia en la actualidad se están realizando proyectos de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás que se obtiene por la descomposición de la biomasa residual húmeda de los animales. ((EERR), 2009)



Figura 4: Biomasa residual húmeda

Fuente: (Los Autores, 2015)

El estudio de esta tesis está enfocada en el estudio de factibilidad de generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual húmeda, cuya materia prima es el estiércol de cerdo. En el ANEXO 1, se puede apreciar los sitios estratégicos de poblaciones ganaderas porcinas en el Ecuador, donde se podría implementar biodigestores para la producción de energía eléctrica, estos datos fueron presentados por la Corporación ENYA<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> ENYA: Corporación de Energía y Ambiente creada en el 2003

#### **1.4 Utilización de la biomasa residual húmeda**

La biomasa residual húmeda, se considera contaminante por su alto contenido de materia orgánica, ya que en su proceso de descomposición genera metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Este tipo de biomasa tiene procesos bioquímicos que se fundamentan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos y se distinguen en dos grandes grupos: los que se producen en presencia del aire llamados aeróbicos y los que se producen en ausencia del aire conocido como anaeróbicos.

El proceso de degradación de materia se puede dar en presencia de oxígeno (degradación aerobia) o en total ausencia del mismo (degradación anaerobia), en el cual se da una gran cantidad de reacciones complejas, donde especies de bacterias generan dos productos finales: microorganismos y gas, denominado a este último como Biogás. El uso de la biomasa residual húmeda es directamente como combustible en la industria, o como combustibles para generación de energía eléctrica, al hacer funcionar turbinas que se encuentran acopladas a generadores eléctricos. ((EERR, 2009)

#### **1.5 Uso de la Biomasa como fuente de Energía**

Principalmente la biomasa sobresale por tener un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles y contenido bajo de carbono, los compuestos volátiles son los agentes responsables de almacenar en gran segmento el poder calorífico de la biomasa, el cual depende del tipo de biomasa a utilizar y también se considera la humedad, razón por la cual los valores de poder calorífico de la biomasa se puede considerar en materia seca o húmeda. (Coordinación de Energías Renovables Dirección Nacional de Promoción Subsecretaría de Energía Eléctrica, 2008)

La biomasa es considerada como recurso energético renovable ya que es ilimitada en el tiempo, es decir, tiene la capacidad de regenerarse cada vez que es consumida, y tiene un menor impacto ambiental. En el mundo la contribución de la energía a partir de la biomasa puede llegar hasta el 40% en algunos países, en la mayoría de los casos dicha biomasa es utilizada para generar calor para calefacción y cocinar.

### 1.5.1 Generación de energía eléctrica basada en biomasa.

Al obtener combustibles líquidos a partir de la biomasa se emplean máquinas de combustión interna, para generación eléctrica, con la descomposición de la biomasa se obtiene el gas metano, el cual se puede liberar con procesos de descomposición de la materia orgánica, una de las maneras de acumular el gas producido es de encaminar por tuberías que transportan el gas hacia un punto donde se producirá la conversión de energía. Una de las alternativas para la generación eléctrica a partir de biomasa se presenta en la Figura 5. Las biotecnologías se emplean en pequeños recintos en los cuales generan electricidad a una capacidad de 5MW o inferior, dichos sistemas se estructuran para poca población o generalmente a nivel de consumidor, con lo cual se puede generar a partir de algunas granjas en las cuales se emplea el estiércol de los animales para producir electricidad.

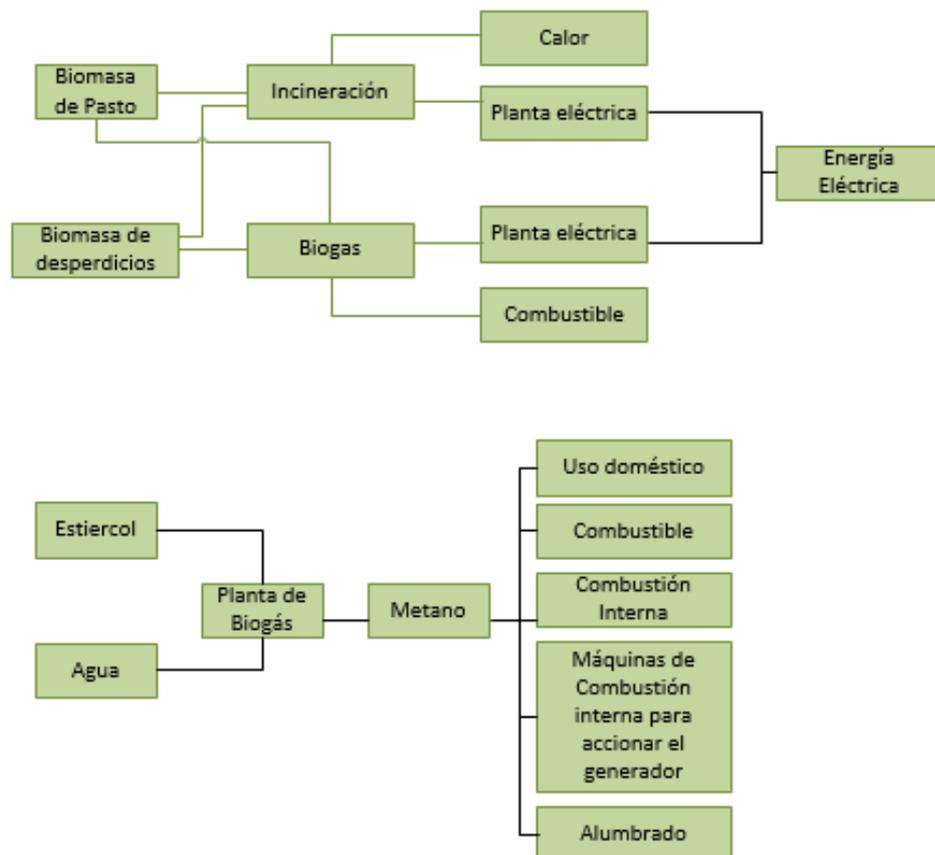


Figura 5: Rutas de la energía de la biomasa

Fuente: (Harper, 2011)

## 1.6 Generación con biomasa en Ecuador

### 1.6.1 Estado actual de energía eléctrica en Ecuador

El desarrollo del sector eléctrico del país es importante, y el principal objetivo es abastecer la demanda actual y futura, por lo cual el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) ha desarrollado un plan de electrificación 2013-2022, donde se detallan los proyectos que se desarrollaran para abastecer la demanda en este periodo. El plan maestro de electrificación 2013-2022 pretende reducir el consumo térmico mediante el incremento de energía hidroeléctrica, fortalecer la red de transmisión y sub-transmisión y el uso de otras fuentes de energía, como principales alternativas se tiene: energía solar, eólica, geotérmica, de biomasa, mareomotriz, las cuales permitirán la sostenibilidad a largo plazo. (CONELEC, 2013)

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) determinó que *“a más de considerar el crecimiento tendencial de la población y consumo, se debe considerar la incorporación de cargas importantes en el sistema, como son los proyectos mineros, la Refinería del Pacífico, el cambio de la matriz energética, y fundamentalmente, la migración de consumos de GLP y derivados de petróleo a electricidad. También se debe considerar los efectos que se desarrollan para mejorar la eficiencia en los sectores residencial y productivo.”*<sup>2</sup> (CONELEC, 2013)

Para determinar la proyección de la demanda se ha planteado 5 hipótesis:

1. Escenario base
2. Escenario base + Incorporación de cargas singulares + Programa de eficiencia Energética
3. Hipótesis 2 + Programa Nacional de cocción eficiente
4. Hipótesis 2 + Abastecimiento de la Refinería del Pacífico desde el SIN
5. Hipótesis 2 + Programa Nacional de Cocción Eficiente + Abastecimiento de la Refinería del Pacífico desde el SIN.

---

<sup>2</sup> Políticas y lineamientos emitidos por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 04 de julio de 2012

Para satisfacer esta demanda con calidad y seguridad se requiere la expansión de la generación, transmisión y distribución. La Constitución de la República y el Plan Nacional para el Buen Vivir, impulsan el mejoramiento y agrandamiento del sistema eléctrico. (CONELEC, 2013)

### 1.6.2 Plan de expansión de generación por tipo de tecnología

En la Figura 6 se observa la expansión de generación por tipo de tecnología para el periodo 2013-2022, existe predominio de generación hidroeléctrica, debido a los proyectos en construcción y estudio.

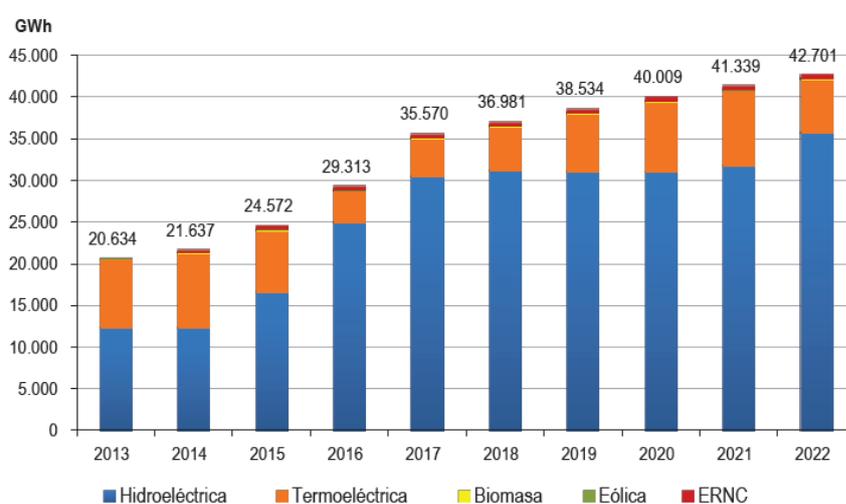


Figura 6: Composición de la generación por tipo de tecnología (GWh)

Fuente: (CONELEC, 2013, pág. 36)

Se puede apreciar que la tendencia de generación mediante uso de biomasa es constante durante el periodo 2013-2022, la cantidad de GWh que se generaran anualmente se cuantifica en la Figura 7. (CONELEC, 2013, pág. 36)

Año	Hidroeléctrica	Eólica	Termoeléctrica	ERNC	Biomasa	Total
2013	12.332	37	8.161	0	104	20.634
2014	12.418	64	8.858	194	104	21.637
2015	16.531	64	7.488	385	104	24.572
2016	24.999	64	3.761	385	104	29.313
2017	30.528	64	4.489	385	104	35.570
2018	31.244	64	5.185	385	104	36.981
2019	31.008	64	6.972	385	104	38.534
2020	31.020	64	8.436	385	104	40.009
2021	31.742	64	9.044	385	104	41.339
2022	35.729	64	6.420	385	104	42.701
<b>Total</b>	<b>257.549</b>	<b>610</b>	<b>68.814</b>	<b>3.278</b>	<b>1.040</b>	<b>331.290</b>

Figura 7: Composición de la generación por tipo de tecnología (GWh)

Fuente: (CONELEC, 2013, pág. 36)

### 1.6.3 Proyectos de generación con biomasa en operación y en estudio en Ecuador

Mediante datos obtenidos del CONELEC dentro del país existen 5 proyectos de generación con biomasa en operación, estos son:

#### 1.6.3.1 Proyectos en operación

##### 1. COMPAÑÍA AZUCARERA VALDEZ S. A

Cultivo de caña de azúcar, producción y comercialización de azúcar y panela. Generación de energía a partir de biomasa. Desde el año 2005 con el fin de crear proyectos amigables con el medio ambiente la empresa impulsa el proyecto de generación termoeléctrica de 3 MW mediante el uso de biomasa, para abastecer la demanda de energía de la planta, usando como materia prima el bagazo de caña. Este proyecto obtuvo la licencia ambiental de construcción otorgado por el CONELEC. (Dr. Francisco Vergara, 2012)

##### 2. COMPESAFA S.A

Proyecto biomasa con basura del Cantón Chone, 10,7 MWh, es un proyecto calificado por el CONELEC desde el año 2012, procesará 150 toneladas día de residuos, que serán usados como materia prima para la generación eléctrica.

La tecnología que emplea está en función del proceso térmico llamado termólisis, que es la producción de bioaceites y gas de síntesis, que son combustibles usados para generar energía mediante grupos electrógenos. (CPSF Compesanfer S.A Oil Company San Fernando Stability & Professionalism in work, 2006)

### **3. ECOELECTRIC S.A**

Generación de energía eléctrica con combustibles de biomasa.

Ubicada al sur oriente de la provincia del Guayas, cantón Milagro, es una planta de cogeneración de 36,5 MW, este proyecto mitiga 104.000 Toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> anualmente. (Dr. Francisco Vergara, 2012)

### **4. ECUDOS S. A. INGENIO LA TRONCAL**

Elaboración y comercialización de azúcar, alcohol y melaza. Producción de energía limpia. Se encuentra en la provincia del Cañar, cantón la Troncal, es una planta de cogeneración de energía eléctrica y vapor, con una capacidad instalada de turbo generación de 29.8 MW, mitiga anualmente 82000 Toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>. (Dr. Francisco Vergara, 2012)

### **5. SOCIEDAD AGRÍCOLA E INDUSTRIAL SAN CARLOS**

El proyecto San Carlos de cogeneración desde el año 2005 hasta el 2011 entregó 174,161.53 MWh y mitigó 125,291.81 Toneladas de CO<sub>2</sub>, es por ello que ha obtenido certificaciones ISO 9001:2008 (Gestión de Calidad), ISO 14001:2004 (Gestión Ambiental) y OHSAS 18001:2007 (Gestión de Seguridad & Salud) y cuenta con el “Reconocimiento Ambiental – Punto Verde” otorgado por el Ministerio del Ambiente por la práctica de Producción más Limpia. (Dr. Francisco Vergara, 2012)

#### **1.6.3.2 Proyectos en ejecución y estudio**

##### **1. Proyectos Biodigestores en Bolívar**

Desarrollado en 2004-2006 se considera un proyecto piloto, para solucionar problemas de las zonas rurales, este proyecto fue ejecutado por el Corporación para la

investigación energética del Ecuador (CIE) y de la Asociación de Juntas Parroquiales de Bolívar.

Este proyecto cuenta con 12 biodigestores, el CIE brindó seminarios, para el monitoreo y mantenimiento del proyecto. (Corporación para la investigación Energética, 2013)

## **2. Proyecto de biogás en el Relleno Sanitario de Pichacay**

En el austro del país se está ejecutando el Proyecto de biogás en el Relleno Sanitario de Pichacay, cuyo fin es disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, se estima la descomposición de 400 toneladas de desechos sólidos, y mediante la captación y descomposición del metano generar electricidad. Anualmente se prevé mitigar 75,000 toneladas de CO<sub>2</sub>, el relleno sanitario tiene certificaciones internacionales como son: ISO 14001 de Gestión Ambiental, ISO 9001 de Calidad, y normas OHSAS 18001 en Seguridad y Salud Ocupacional. (Generación de Energía Alternativa a partir de Biomasa Cuenca-Ecuador, 2014)

## **3. Proyecto Biodigestores- Nono**

Nono está ubicado en la provincia de Pichincha, es una comunidad rural agrícola y ganadera, se pretende usar materia prima de los desechos agrarios y ganaderos para generar energía eléctrica y brindar una mejor calidad de vida de sus habitantes. (Corporación para la investigación Energética, 2013)

### **1.6.4 Proyecto propuesto**

El desarrollo de esta tema de tesis consiste en realizar el estudio de generación de energía eléctrica, a partir de la utilización de biomasa residual húmeda, obtenida de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues sector Zhizhiquín, cuya finalidad es el estudio para el autoabastecimiento de energía eléctrica o para cubrir cierto porcentaje del mismo. (Los Autores, 2015)

En la Figura 8 (a, b) se presenta la ubicación del sector y la ubicación exacta de la granja porcina respectivamente.



a) Sector



b) Ubicación exacta

Figura 8: Ubicación de la granja porcina

Fuente: (Los Autores, 2015)

#### 1.6.4.1 Características de la granja porcina

##### Características externas

La granja actualmente se encuentra constituida por un área de construcción de 104m<sup>2</sup> existen tres construcciones, una de ellas es para vivienda del propietario, seguidamente se encuentran dos construcciones más de las mismas dimensiones La Figura 9 a), la

3ra construcción es el establo donde se encuentra los animales porcinos, esta construcción es de bloque y cemento, el techo es una estructura de hierro cubierto por planchas de zinc, la entrada es una puerta de hierro corrediza como se aprecia en la Figura 9 b).



a) Granja



b) Establo de animales

Figura 9: Granja porcina en estudio

Fuente: (Los Autores, 2015)

Las dimensiones de la granja porcina se detallan en la Tabla 2.

Dimensiones	Total en (m)
Largo	13
Ancho	8
Altura	3,2

Tabla 2: Dimensiones de la granja porcina

Fuente: (Los Autores, 2015)

## Características internas

El interior de la granja es de cemento, está dividida en 12 partes, cada parte con una dimensión de 2x3m está dividida a su vez en 3 celdas de 1x3m, en donde se encuentran los cerdos como se aprecia en la Figura 10, esta modalidad se ha sido adoptada solo para los cerdos de gran tamaño. (Los Autores, 2015)



Figura 10: Celdas de la granja porcina

Fuente: (Los Autores, 2014)

### 1.6.4.2 Cantidad de animales en la granja

El número de animales contabilizados en una visita a la granja realizada el día 17 de octubre del 2014, se muestra en la Tabla 3. (Los Autores, 2015)

<b>Animales</b>	<b>Cantidad</b>
Hembras en reemplazo	7
Machos	2
Hembras en gestación	3
Lechones	5
<b>Total</b>	<b>17</b>

Tabla 3: Ganado porcino existente

Fuente: (Los Autores, 2015)

Como se puede observar en la tabla anterior se cuenta con un total de 14 animales de ganado porcino, con este número de animales se recolecta semanalmente entre 2-2,25 carretillas de biomasa residual húmeda (excremento), y se cuenta con una área de 49 m<sup>2</sup> para el almacenamiento de la biomasa, la misma que es expuesta al aire libre y no

tiene ningún tratamiento como se presenta en la Figura 11, en ocasiones es utilizada como fertilizante para los cultivos de la granja. (Los Autores, 2015)



Figura 11: Biomasa Desechada

Fuente: (Los Autores, 2015)

El número de animales de la granja no siempre es constante, anualmente las hembras paren de 2 veces y tienen en promedio 13 crías; pasados 2 meses algunos salen a la venta y otros se quedan en la granja. En la Figura 12 se presenta la poblacional de cerdos en la granja, los datos de población fueron tomados en diferentes fechas, como se observa en el ANEXO 2, y en la Figura 12 se puede apreciar el comportamiento de la población de acuerdo al sexo y estado. (Los Autores, 2015)

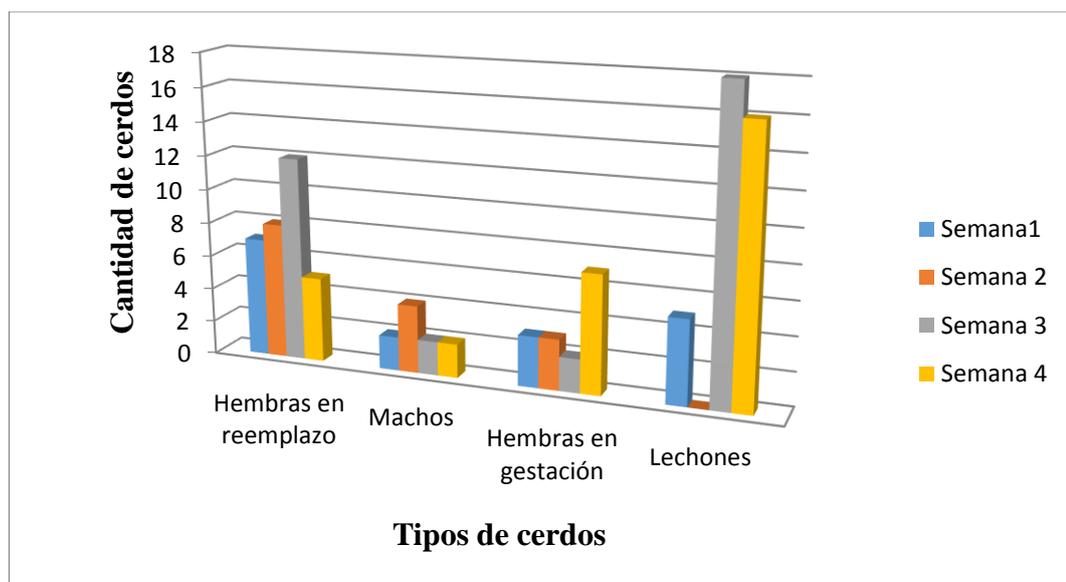


Figura 12: Población de cerdos

Fuente: (Los Autores, 2015)

#### 1.6.4.2 Factores para determinar el volumen de estiércol

Para determinar el volumen de estiércol producido por los animales se debe considerar los siguientes factores de la Tabla 4. (Los Autores, 2015)

Factores	Cantidad
Cantidad de cerdos	17
Peso promedio de cerdos machos	200 kg
Peso promedio de hembras en estado de gestación	180 kg
Peso promedio de hembras de reemplazo	80 kg
Peso promedio lechones	10 kg

Tabla 4: Factores para determinar el volumen de estiércol

Fuente: (Los Autores, 2015)

De acuerdo al peso de los animales se estima que la cantidad de estiércol que se obtendrá corresponde al 5% de su peso.

Hay que tener en cuenta que durante el periodo de crecimiento de los cerdos, estos son alimentados con diferentes tipos de comidas como se aprecia en la Tabla 5. (Los Autores, 2015)

Periodo de crecimiento del cerdo	Alimento en Kg/día
Destete	0,4
Reemplazo	3
Hembras en Gestación	2.2
Machos	2
<b>Total de alimento diario</b>	<b>7,6</b>

Tabla 5: Alimento durante el periodo de crecimiento

Fuente: (Los Autores, 2015)

El diseño del proyecto en estudio se realizará en el capítulo III, en el cual se obtendrá resultados de peso de biomasa generada semanalmente, volumen de biogás y cantidad de biomasa necesaria para abastecer la demanda de la granja porcina.

#### 1.7 Ventajas y desventajas

Todo proyecto tiene sus ventajas y desventajas y en función del proyecto en estudio mencionaremos algunas de ellas.

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Autoabastecimiento de energía eléctrica	Al contener una baja densidad relativa de energía, requiere grandes espacios de almacenamiento, por ende mayor inversión
Disminución del efecto invernadero	Al no tener un adecuado tratamiento se genera emanaciones de gas metano (CH <sub>4</sub> ) que es aproximadamente 21 veces más contaminante que el CO <sub>2</sub>
Recurso de fácil obtención e inagotable	No existen normas establecidas por el gobierno en cuanto a impuestos, subsidios, etc
Reutilización de los desechos	La biomasa no debe contener demasiada humedad
En pequeñas cantidades el precio de tratamiento es relativamente bajo	
En los sectores rurales se incentiva al aprovechamiento de recursos, creando más opciones de trabajo	

## CAPÍTULO 2

### TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL BIODIGESTOR

#### 2.1 El biogás

El biogás es un gas combustible que se produce por la biodegradación de la materia orgánica (CNAF, 2014), está constituido por el 50-80% de metano, 30-50% de dióxido de carbono y el 2% de otros gases como se observa en la Tabla 6. (Byron Alcívar González, pág. 17)

Componente	Fórmula química	Residuos agrícolas y ganaderos	Lodos de EDAR	Residuos Industriales	Vertederos de RSU
Metano	CH <sub>4</sub>	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0-1 %	0-3 %	0-1 %	0-20 %
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0-1 %	0-1 %	0-1 %	0-5 %
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
Monóxido de carbono	CO	0-1 %	0-1 %	0-1 %	-
Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> S	100-7000 ppm	0-1 %	0-8 %	0,5-100 ppm

Tabla 6: Componentes del biogás

Fuente: (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012, pág. 26)

#### 2.1.1 Procesos de biodigestión

Los procesos de biodigestión consisten en la descomposición de la materia orgánica tanto en presencia y ausencia de oxígeno, a estos procesos se denominan digestión aeróbica y anaeróbica respectivamente.

##### 2.1.1.1 Proceso de digestión aeróbica

Este tipo de proceso se lleva a cabo en presencia de oxígeno, en los cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica transformándolo en productos nocivos.

Para este proceso los lodos son expuestos al aire en un tanque descubierto, lo cual permite la oxidación directa de la materia orgánica, uno de los inconvenientes de este

proceso es que durante tiempo de degradación todos los gases de efecto invernadero son emitidos directamente al ambiente. (Moreno, 2011)

### 2.1.1.2 Proceso anaeróbico

La descomposición anaeróbica (ausencia de oxígeno) se realiza en un tanque cerrado llamado “biodigestor” se constituye el método más común para la producción de biogás. La mezcla que contiene el biodigestor es, biomasa con agua, la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. (Vinasco)

En el primer paso, tiene por nombre licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principales ácidos y alcoholes, posteriormente la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. Las etapas de la descomposición anaeróbica se observan en la Figura 13. (Vinasco)

Los productos que se pueden obtener mediante el proceso anaeróbico son:

- **Biogás:** mezcla gaseosa usada para producir energía eléctrica.
- **Lodo estabilizado:** es un tipo de lodo orgánico que se emplea como fertilizante. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

El estudio de esta tesis se basa en el análisis de la cantidad biogás que se obtiene de la biomasa del estiércol de cerdos para generar energía eléctrica.

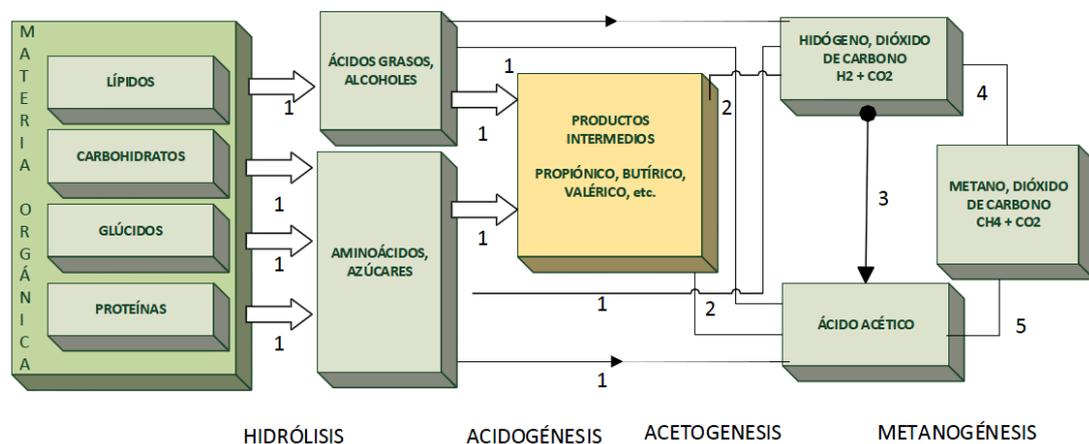


Figura 13: Etapas de la Digestión Anaeróbica

Fuente: (Vinasco)

El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles, y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación.

Dependiendo del tipo de materia orgánica se produce alrededor de 400-700 litros de gas por cada kilogramo de materia en descomposición. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

### **2.1.2 Principales etapas de la descomposición anaerobia**

Las etapas de la descomposición anaeróbica se presentan en la Figura 13, en la cual se encuentran cinco (5) fases constituyendo la primera las bacterias hidrolíticas acidogénicas, la segunda constituye las bacterias acetogénicas, la tercera fase compuesta por bacterias homoacetogénicas, la cuarta fase conformada por bacterias metanogénicas hidrogenófilas y como la quinta fase constituida por las bacterias metanogénicas acetoclásticas y se describen como:

#### **2.1.2.1 Etapa Hidrolítica**

Los compuestos orgánicos complejos son despolimerizados, por la intervención de enzimas hidrolíticas en moléculas solubles y fácilmente degradables. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.1.2.2 Etapa Acido-génica**

De la etapa hidrolítica se obtienen compuestos solubles los cuales se transforman en ácidos grasos de cadena corta. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.1.2.3 Etapa Acetogénica**

Las bacterias acetogénicas transforman a los compuestos intermedios, de lo cual se obtiene ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, el metabolismo acetogénico es muy dependiente de las concentraciones de estos productos. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.1.2.4 Etapa Metanogénica**

En esta etapa los compuestos obtenidos en la etapa acetogénica son transformados en gas metano y dióxido de carbono, se diferencian dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético siendo estos la principal causa de la formación del metano con un porcentaje del 70% en forma general y los que consumen hidrógeno. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.1.3 Factores del proceso microbiológico**

Para obtener un adecuado proceso microbiológico en la generación de biogás se deben considerar los siguientes parámetros:

##### **2.1.3.1 Concentración de oxígeno**

Para conseguir un ambiente adecuado para las bacterias metanogénicas se debe asegurar la ausencia de oxígeno ya que para ellas es un elemento tóxico, al darse el caso de la presencia de oxígeno el mismo puede ser consumido por las bacterias hidrolíticas y acidogénicas debido a que las bacterias son facultativas las cuales pueden desarrollarse en presencia de oxígeno. (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012)

##### **2.1.3.2 Temperatura**

Para asegurar la eficiencia del proceso de degradación la temperatura es de gran importancia ya que de ella dependerá la velocidad de degradación de las bacterias metanogénicas involucradas, al existir la variabilidad de la temperatura se ha determinado rangos para que las bacterias se desarrollen, entre dichos rangos se encuentran temperaturas hasta los 25°C en la que se desarrollan las bacterias psicrófilas considerados como bajo grado de actividad, el siguiente rango de temperatura se encuentra comprendido entre los valores de 32 °C a 42 °C en la que se desarrollan las bacterias mesófilas considerado como grado de actividad mediano, y en el rango de temperatura comprendido entre 50°C a 70°C se hallan las bacterias termófilas con un grado de actividad alto.

Las diversas situaciones de la variabilidad de la temperatura influyen directamente en la generación del metano, en la Figura 14 se aprecia como el comportamiento de la

temperatura en la generación de metano y del gas. (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012)

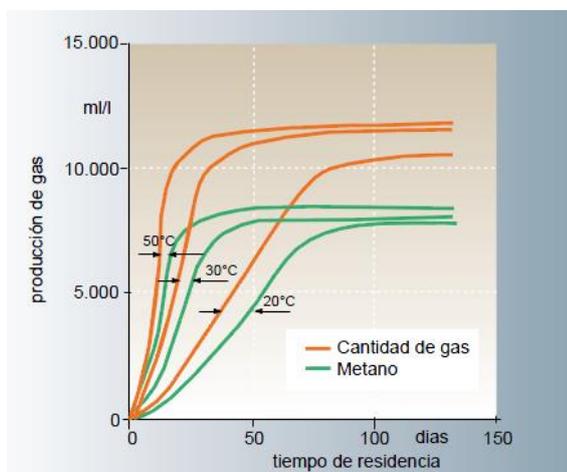


Figura 14: Temperaturas del proceso de digestión anaerobia

Fuente: (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012)

### 2.1.3.3 Potencial de Hidrógeno

El proceso de digestión anaerobia se debe llevar a cabo en un rango comprendido de 6,8 y 7,5 de PH para reactores de mezcla completa, lo que se ha determinado ya que al existir altos valores de acidez las bacterias acetogénicas y metanogénicas las que regulan el proceso son muy sensibles. Al considerar un nivel de PH menor a 6,5 conlleva a la acidificación del reactor por consiguiente una inhabilitación de bacterias metanogénicas. Las bacterias que se encuentran en la etapa de hidrólisis y acidogénesis tienen un mejor desempeño en situaciones más ácidas con un PH comprendido entre 4,5 y 6,3, con esos valores de PH él se conseguirá que la materia orgánica llegue a la solubilización y no a la metanización (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012).

### 2.1.3.4 Nutrientes y Compuestos Inhibidores

Para el desarrollo de las bacterias se necesita de relación de elementos como: Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Azufre. (C:N:P:S) lo que se considera que debe oscilar entre valores de 600:15:5:1, para tener condiciones adecuadas para el desarrollo de las bacterias, al igual que en la temperatura la carencia de los nutrientes influye en la aceleración de en la actividad microbiana. (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012)

#### **2.1.4 Beneficios obtenidos en la aplicación de la tecnología del biogás**

Para determinar los beneficios que se obtienen al producir el biogás se lo realiza por diferentes ámbitos.

##### **2.1.4.1 Beneficios en Protección Ambiental**

Con el tratamiento anaerobio del estiércol de los animales, se evita la libre emisión de metano al ambiente y paralelamente evita el aumento de concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al ser reemplazado por otros combustibles que para su producción contribuyen en la emanación de CO<sub>2</sub>.

Al realizar el almacenamiento hermético se reduce la emisión de amoniaco a la atmosfera, reduciendo la emisión de óxido nitroso.

Se consigue la descomposición de contaminantes orgánicos presentes en el estiércol.

Disminución de malos olores en las zonas donde se producen grandes cantidades de estiércol, la eliminación se realiza debido a que los ácidos volátiles generadores del mal olor son consumidos por las bacterias en el proceso de digestión anaerobia. (Ministerio de Energia, Gobierno de Chile, 2012) (Vinasco)

##### **2.1.4.2 Beneficios en Fertilización Orgánica**

Con el tratamiento de la biomasa en el biodigestor contiene cantidades importantes de nutrientes fertilizantes como son: nitrógeno, fósforo y potasio, también abastece de alimento a los vegetales, mejora la calidad para el cultivo beneficiando al suelo ya que aumenta la capacidad de retención del agua.

En la práctica agrícola el uso del estiércol de animal es empleado como fertilizante, dicha práctica se encuentra vinculada con la contaminación al aire y las napas freáticas, con el tratamiento anaerobia aproximadamente del 70% de la biomasa se convierte en metano y dióxido de carbono lo que disminuye la relación de carbono/nitrógeno lo que mejora la calidad como fertilizante ya que el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran cantidad de amoniaco.

También se reduce las sustancias fitóxicas que se encuentran en el estiércol causada por la degradación de los ácidos orgánicos, las sustancias fitóxicas pueden producir

necrosis y esclerosis cuando se aplica el estiércol en los cultivos. (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012) (Vinasco)

#### **2.1.4.3 Beneficios Económicos y Sociales**

El biogás al ser un combustible tiene la posibilidad de ser vendido directamente como gas valorado por su contenido energético para sustituir combustibles fósiles y también para ser utilizado como generación térmica o eléctrica.

Conlleva beneficios para los productores o las zonas donde se establezcan los proyectos debido a que pueden ser sistemas descentralizados de generación eléctrica y térmica.

La recuperación de biogás mejora los rendimientos económicos mientras mejora calidad del medio ambiente. Maximizando los recursos de la granja de tal manera que puede probarse que es competitiva. (Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, 2012) (Vinasco)

#### **2.2 Aplicaciones del biogás**

Debido a que el biogás contiene gran cantidad de metano se considera como combustible, el cual se utiliza como fuente de energía para diferentes ámbitos. Puede ser empleado para cocción de alimentos como una alternativa para dejar de usar el GLP tradicional y en alumbrado, generación de energía eléctrica por medio de calderas o motores de combustión interna. (Vinasco)

En la Figura 15 se presenta la equivalencia energética de un metro cubico (m<sup>3</sup>) de biogás con respecto a otras fuentes de energía.

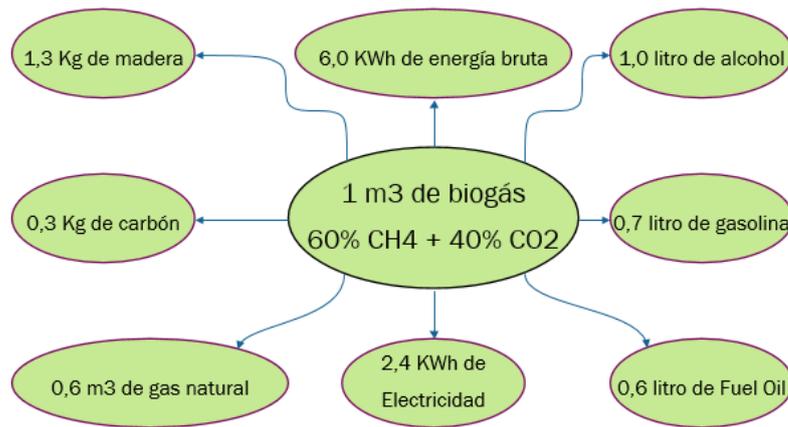


Figura 15: Equivalencia de biogás

Fuente: (Ministerio de Energia, Gobierno de Chile, 2012)

La producción de biogás tiene diferentes campos de aplicación, entre los principales se encuentran los siguientes:

Como material base para la síntesis de productos del valor agregado como el etanol.

En motores o turbinas para generar electricidad.

En una caldera para generar calor o electricidad.

En motores de cogeneración para generar electricidad y calor de manera simultánea.

Como combustible para vehículos.

Como reemplazo de gas licuado de petróleo para cocinas a gas. (Ministerio de Energia, Gobierno de Chile, 2012).

Un proceso similar a la equivalencia de biogás se lo realiza en el consumo de metro cubico de biogás, como se presenta en la Figura 16.

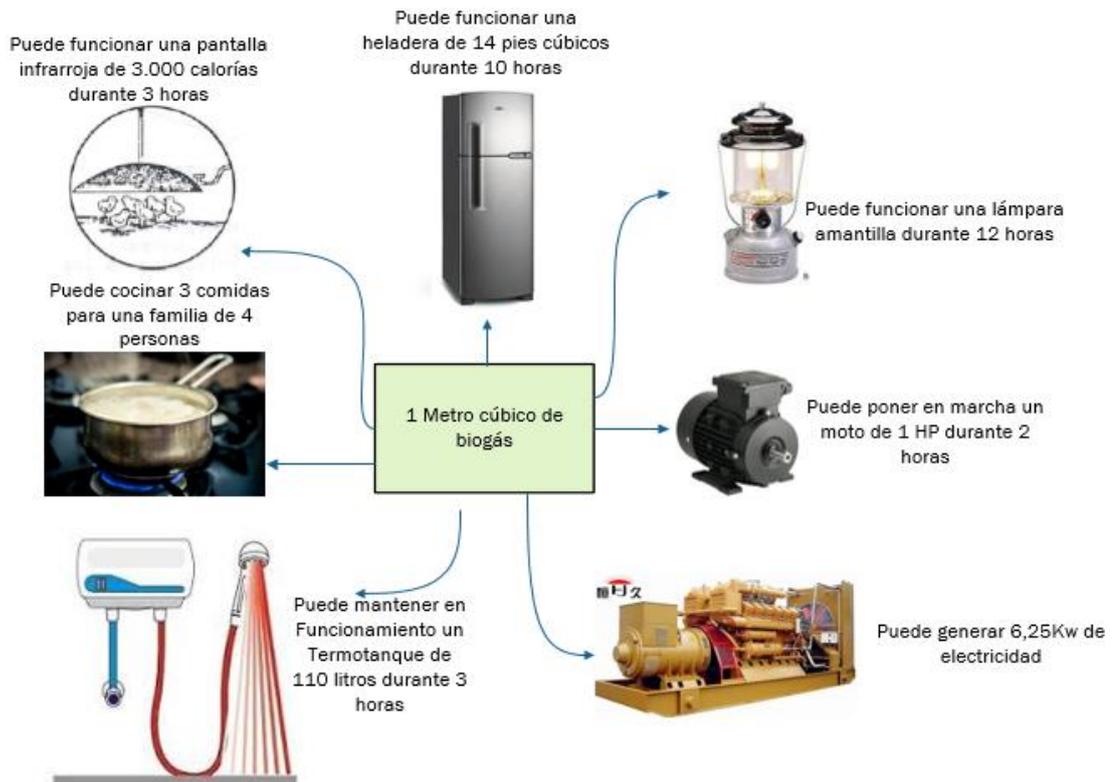


Figura 16: Consumo de biogás

Fuente: (Gilbert)

### 2.2.1 Generación de energía eléctrica

El biogás tiene la posibilidad de alimentar los motores de combustión interna que se encuentran conectados a un generador ya sea a diésel o gasolina. Al momento de emplear el biogás en motores hay que eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) por medio de filtros y evitar que se mezcle con el agua ya que se forma ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) lo que contiene un nivel alto corrosivo.

Para el funcionamiento del biogás en motores de combustión interna no se necesita de presiones altas, razón el biogás puede tener presiones bajas esto se debe a que el motor por succiona el gas. (Vinasco)

En la Figura 17 se puede observar el proceso de producción de biogás para generar energía, entre ellas energía eléctrica.

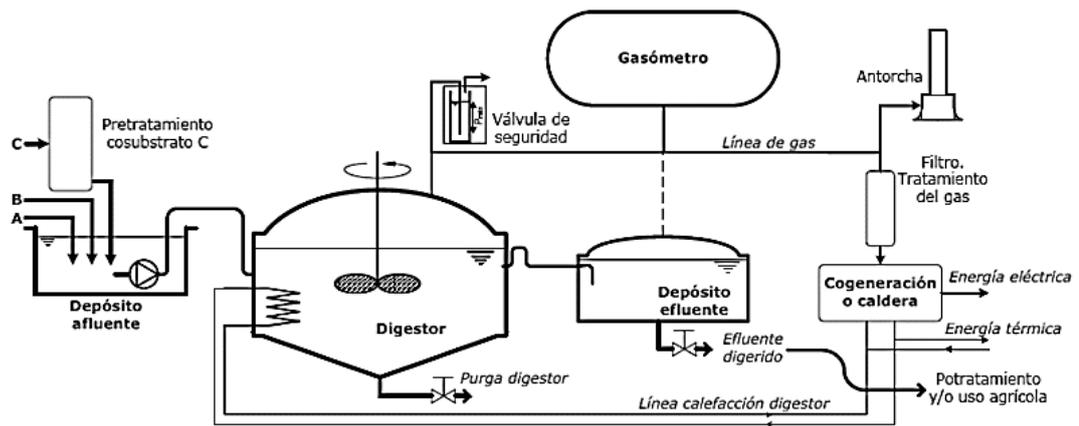


Figura 17: Proceso de producción de biogás

Fuente: (Waste)

### 2.3 Qué es un biodigestor

Un biodigestor es un contenedor en el cual se lleva a cabo la digestión anaeróbica del recurso biomasa en este caso excremento de animales provenientes de una granja porcina. Está constituido principalmente por una entrada para la biomasa, una salida (desfogue), el sistema de recolección y en ocasiones sirve para almacenar el biogás producido, ya que en otras ocasiones el sistema de almacenamiento de biogás es independiente del biodigestor. Los biodigestores son de fácil construcción, tecnología innovadora y de bajo coste, es por ello que países subdesarrollados tienen posibilidad de implementación. La tecnología del biogás forma parte de las energías renovables que cumple con las exigencias ecológicas, ambientales y económicas del futuro. (Byron Alcívar González, 2007, pág. 41)

#### Partes de un biodigestor:

- Tanque de homogenización
- Una bomba (opcional)
- Tanque de biodigestión
- Un mezclador o agitador
- Tuberías de captación de biogás
- Recipiente para almacenar biogás
- Tuberías y válvulas de seguridad, cierre y desagües, filtro de remoción de H<sub>2</sub>S
- Equipos para combustión (cocinas, incineradores, etc.)
- Generadores de energía eléctrica o calor.

## 2.4 Características de los biodigestores

Para obtener una buena operación para la producción de biogás los biodigestores deben cumplir con las siguientes características:

- Hermético, para evitar fugas de gas.
- Térmicamente aislado, para evitar cambios bruscos de temperatura
- Acceso para mantenimiento
- Debe tener un medio para romper las natas que se forman

## 2.5 Constitución de un biodigestor

### 2.5.1 Cámara de digestión

Es la parte central del biodigestor, en ella se introduce el material a fermentar, el cual debe ser mezclado con agua, para luego conducirlo al digestor. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

### 2.5.2 Conducto de largo

Es un conector entre la cámara de carga con la cámara de digestión. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

### 2.5.3 Gasómetro

Es el lugar donde se almacena el biogás producto del proceso de fermentación, este gasómetro debe estar construido a prueba de fugas ya que el flujo de gas es interrumpido a lo largo del día (Maricela Rocano Tenezaca, 2007). Los gasómetros pueden ser de diferentes tipos como son:

**De cúpula fija:** El gasómetro forma parte de la cámara de digestión, en este tipo se debe mantener constante la presión a medida que aumenta la producción de biogás. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

**De depósito flotante:** El gasómetro puede ser de fierro o plástico rígido, su instalación es interno o externo al biodigestor. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

**De material plástico:** es un contenedor de plástico que puede ser de caucho, polietileno o geo-membrana de PVC, puede ser instalado sobre el biodigestor. En este tipo de gasómetro no hay como mantener la presión constante. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

#### **2.5.4 Sistema de purificación del biogás**

Para que el biogás sea usado como combustible no debe contener ningún tipo de contaminante para ello se debe realizar:

**Eliminación del sulfuro de hidrógeno:** Es de gran importancia eliminar completamente este componente para evitar deterioro de las instalaciones. La eliminación consiste en hacer pasar la corriente de biogás por un cartucho relleno de limaduras, viruta de hierro o clavos. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

**Eliminación del dióxido de carbono:** Se puede eliminar usando una mezcla de agua con cal, o utilizando sosa acústica, aunque este proceso no es tan rentable debido al coste de la sosa. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

**Eliminación de agua:** Se producen gotas de agua debido al vapor de agua, para ello se debe drenar el agua por la parte más baja de la tubería. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

El control y medida de presión se puede realizar mediante el uso de un manómetro.

### **2.6 Tipos de biodigestores**

Existen diversos tipos de biodigestores, a continuación se detallan algunos tipos.

#### **2.6.1 Pozo sépticos**

Es el tipo más antiguo de biodigestor que se conoce Figura 18, se usa para la recolección de aguas residuales domésticas, de allí se deriva el uso de los gases producidos por la descomposición, para uso doméstico. Estos pozos deben ser aislados y sometidos a un proceso químico para el tratamiento de aguas negras, para que la fermentación anaeróbica sea correcta.

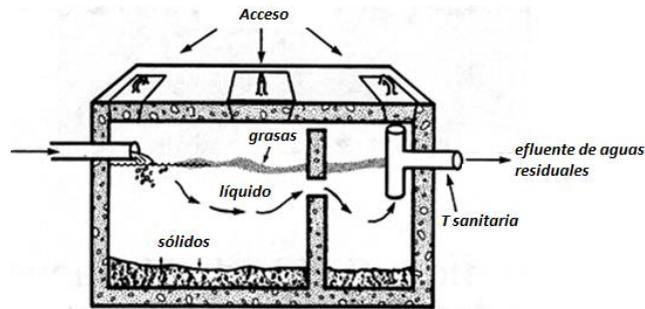


Figura 18: Pozo Séptico

Fuente: (Guzmán, 2005)

### 2.6.2 Biodigestor de domo flotante (Indio)

Consiste en un tambor de fibra de vidrio reforzado en plástico, este biodigestor se alimenta por una tubería de entrada como se observa en la Figura 19, su acción consiste en mantener al gas generado bajo presión constante, la presión del gas dependerá del tamaño del contenedor. Este tipo de biodigestor es de fácil dominio. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

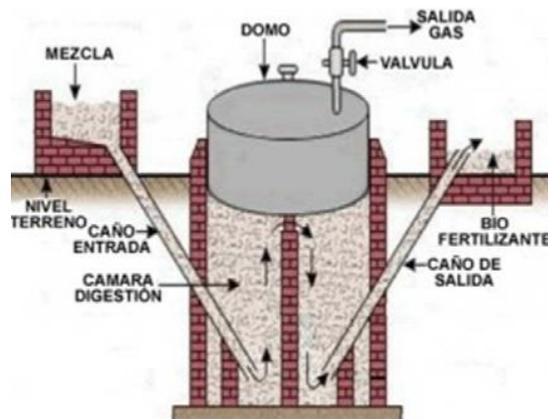


Figura 19: Biodigestor de domo flotante (Indio)

Fuente: (Indio)

### 2.6.3 Biodigestor de estructura flexible

Fue diseñado como solución para los granjeros que no tenían recursos para adquirir otros tipos de biodigestores, están contruidos con polietileno, es de fácil operación y es una técnica muy usada en América Latina, Asia y África. Este tipo de tecnología es muy usada para el tratamiento de excrementos de ganado, la parte inferior de la bolsa contiene materia prima y a medida que esta se descompone el gas que produce va inflando la bolsa, sin exceder la presión de trabajo de la misma. En la Figura 20 se

observa un biodigestor de estructura flexible típico. (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)



Figura 20: Biodigestor de estructura flexible  
Fuente: (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.6.4 Digestor flotante**

Es un biodigestor de polietileno tubular el cual se encuentra flotando en cualquier superficie de agua Figura 21, este puede ser usado cuando el espacio de construcción es pequeño.



Figura 21: Digestor Flotante  
Fuente: (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

#### **2.6.5 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno**

Es un digestor de estructura semiesférica de película delgada y tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo Figura 22, es una estructura de bajo costo y vida útil elevada se estima que puede llegar hasta 10 años en operación.



Figura 22: Digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno

Fuente: (Alejandro Bautista Buhigas, 2010)

## 2.7 Conversión del biogás en energía eléctrica

Para generar energía eléctrica con biogás se alimenta una micro-turbina o motor de combustión interna a un generador, el sistema de transformación micro-turbina o motor se elegirá en función de la potencia que se va a generar. (Ramírez Rodríguez, 2004)

### 2.7.1 Micro turbina

Son turbinas de tamaño pequeño con un rango de generación de 25 y 500KW, están constituidas por generadores de gran velocidad de imán permanente que giran a la misma velocidad que la turbina de gas. (Govern de les Illes Balears, 2006)

Por su configuración se clasifican en:

1. **Eje simple:** permite reducir los costos de producción y su mantenimiento es fácil. (Govern de les Illes Balears, 2006)
2. **Ciclo simple:** se mezcla aire comprimido con el biogás y la combustión se realiza en condiciones de presión constante. (Govern de les Illes Balears, 2006)
3. **Ciclo de regeneración:** usan un intercambiador de calor, esta recupera la corriente de salida de la turbina y la transfiere a la corriente de entrada de aire. Este sistema de generación permite incrementar la eficiencia eléctrica de la micro turbina. (Govern de les Illes Balears, 2006)

### **2.7.2 Motores a gasolina**

El motor a gasolina puede funcionar a gas si se realiza una adaptación que consiste en colocar entre el filtro de aire y el carburador una “Tee” por donde se suministrará gas al sistema. (Ramírez Rodríguez, 2004)

Para ello se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando el motor esté funcionando con biogás evitar el paso de gasolina, mediante el uso de una válvula de control de paso de gasolina al carburador.
- Mantener la presión del gas constante.
- Mantener el filtro de aire siempre limpio, esto ayudará que el motor opere en estado estable.
- Verificar que la válvula de control esté operando correctamente.

Al igual que el motor a gas debe alimentar a cargas constantes caso contrario se procede al diseño de un sistema de control estricto. (Ramírez Rodríguez, 2004)

### **2.7.3 Motores a diésel**

En los motores a diésel el biogás puede ser reemplazado hasta un rango de un 70% 80% y consumo de diésel restante de 30% o 20% respectivamente, este tipo de motores requieren que se realice modificaciones para que funcionen con biogás lo que permite un funcionamiento dual de diésel con biogás, la razón principal de la necesidad de la presencia de un porcentaje de diésel en el motor es para asegurar la ignición en el motor, esto se debe a que la temperatura en la cámara de combustión del motor es mayor al final de la carrera de compresión, pero es menor a la temperatura a la mezcla de biogás/aire hace ignición naturalmente.

Para la modificación del ingreso del biogás al motor de diésel se necesita enchufar el tubo de salida del biogás directamente al tubo de admisión del aire del motor después del filtro. (Vinasco) (R Quezada, 2007)

La mezcla del biogás con el diesel se realiza en la cámara de combustión. Cuando el motor recibe el biogás por la entrada de aire, este se acelera, por lo que el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diesel suministrado a la cámara de

combustión, logrando una estabilidad en la aceleración y potencia del motor. (Ramírez Rodríguez, 2004) (R Quezada, 2007)

#### **2.7.4 Motores a gas**

La estructura de este tipo de motores es semejante a los motores de combustión interna, la una diferencia recae en la admisión del gas se realiza por una válvula que regula la presión, entonces en vez de tener gas licuado de petróleo en el carburador se va a tener 100% de biogás.

Este sistema de alimentación no permite la regulación automática de la mezcla y la carga, por lo cual el control es automático desde la válvula de control del biogás.

La carga que se conecte debe ser constante, caso contrario si la carga es variable se debe realizar el diseño de un sistema de control que garantice el abastecimiento continuamente. (Ramírez Rodríguez, 2004)

## CAPÍTULO 3

### DIMENSIONAMIENTOS DE EQUIPOS PARA EL BIODIGESTOR Y ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA

#### 3.1 Cálculo de la demanda eléctrica de la granja porcina

La granja actualmente se encuentra constituida por un área de construcción de 104m<sup>2</sup>, en donde se encuentra una vivienda de una sola planta perteneciente al Sr. Miguel Cabrera Segovia y misma que se sirve de energía eléctrica de la red de distribución de baja tensión de la Empresa Eléctrica Azogues, del tipo, 1F2C (120V).

##### 3.1.1 Carga Actual

Se realizó un inventario de equipos conectados, entre ellos luminarias, electrodomésticos, etc., la potencia instalada es de 2,094 KW, en la Tabla 7 se presentan los equipos con su respectivo valor de potencia consumida que se encuentran actualmente en la propiedad. (Los Autores, 2015)

ARTEFACTO	Cantidad	Potencia (W)	Potencia (Kw)
Televisor	1	250	0,25
Foco ahorrador	8	144	0,144
Refrigerador	1	200	0,2
Licuadora	1	350	0,35
Equipo Stereo	1	150	0,15
Plancha	1	1000	1
TOTAL		2094	2,094

Tabla 7: Equipos instalados

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para determinar el consumo de energía se recurrió a los datos de consumo mensual de las planillas de luz facturadas por la Empresa Eléctrica Azogues C. A. (ANEXO 3). En la Tabla 8 se observa el consumo mensual de KW-h de la vivienda y la granja porcina.

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>KW-h</b>	<b>Consumo Diario KW-h</b>
2014	Enero	48	1,60
2014	Febrero	49	1,63
2014	Marzo	62	2,07
2014	Abril	57	1,90
2014	Mayo	54	1,80
2014	Junio	60	2,00
2014	Julio	69	2,30
2014	Agosto	157	5,23
2014	Septiembre	99	3,30
2014	Octubre	65	2,17
2014	Noviembre	51	1,70
2014	Diciembre	63	2,1

Tabla 8: Consumo de energía eléctrica mensual

Fuente: (Los Autores, 2015)

A partir de los datos estadísticos presentados en la Tabla 8, se obtiene un consumo promedio mensual de 70,09KWh, y considerando un mes típico del año de 30 días, el consumo diario es de 2,34KWh para el año 2014.

En la Figura 23 se presenta el comportamiento de la demanda en el año 2014 desde el mes de enero hasta diciembre, donde se observa la variación dinámica de la demanda por mes. Se aprecia un comportamiento atípico en el mes de agosto y septiembre debido al uso de campanas de calor eléctricas para los cerdos recién nacidos, razón por la cual para la proyección de la demanda no se considera dichos valores, ya que en la actualidad se usa gas (GLP) para las campanas. (Los Autores, 2015)

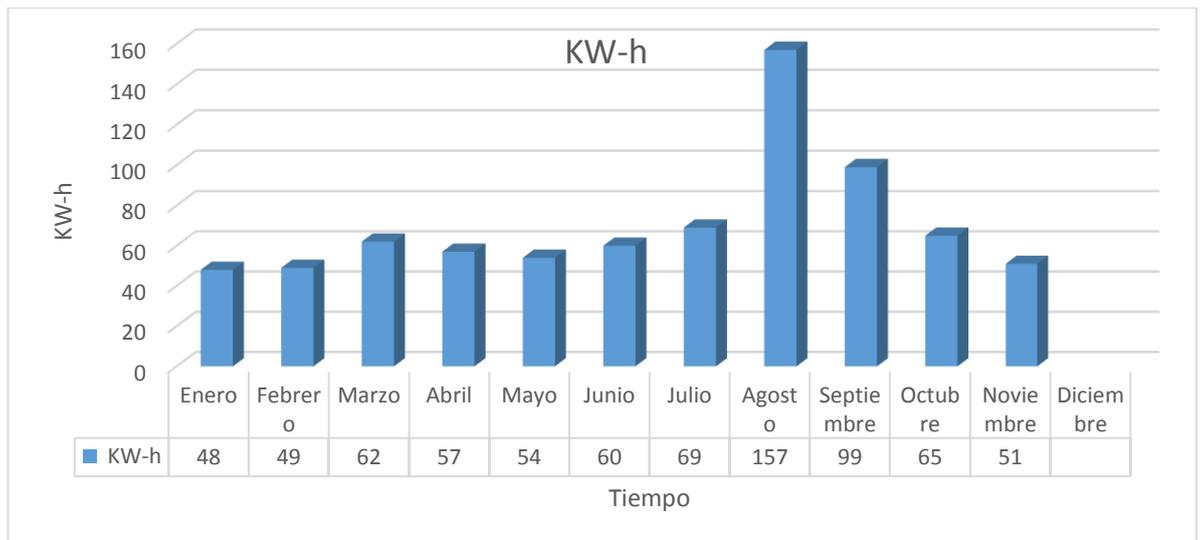


Figura 23: Comportamiento de la demanda para el año 2014

Fuente: (Los Autores, 2015)

### 3.1.2 Proyección de la demanda

La proyección de la demanda a futuro permite determinar el comportamiento de la misma a largo plazo para considerar el funcionamiento del sistema en un tiempo estipulado. Con los datos históricos de demanda presentados en la Tabla 8 que contiene la demanda de los meses del año 2014, se realiza la proyección hasta el mes de diciembre del año 2017.

Para la proyección de la demanda se aplica la Ecuación 1. (CONELEC, 2013)

$$DF = DA * e^{(fc*t)}$$

Ecuación 1: Demanda futura

Donde:

DF: Demanda Futura

DA: Demanda Actual

fc: Factor de crecimiento

t: tiempo en años

Una vez aplicada la Ecuación 1, se tiene los valores de la demanda proyectada los que se presentan en la Tabla 9.

Mes	Proyección			
	2014 [KW-h]	2015 [KW-h]	2016 [KW-h]	2017 [KW-h]
Enero	48	50,46	55,77	64,79
Febrero	49	51,51	56,93	66,14
Marzo	62	65,18	72,03	83,69
Abril	57	59,92	66,22	76,94
Mayo	54	56,77	62,74	72,89
Junio	60	63,08	69,71	80,99
Julio	69	72,54	80,17	93,14
Agosto	157	60,45	66,81	77,62
Septiembre	99	63,08	69,71	80,99
Octubre	65	68,33	75,52	87,74
Noviembre	51	53,61	59,25	68,84
Diciembre	63	66,23	73,20	85,04

Tabla 9: Análisis de proyección de la demanda

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para observar el comportamiento de la proyección de la demanda en la Figura 24 se presenta el crecimiento con relación a los meses hasta el mes de diciembre del 2017. (Los Autores, 2015)

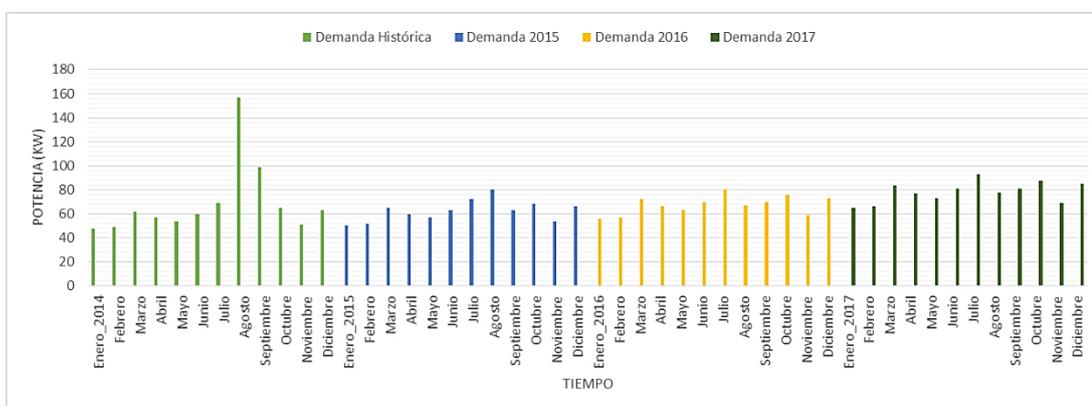


Figura 24: Proyección de la demanda

Fuente: (Los Autores, 2015)

Con los datos de la proyección de la demanda presentada, se determina que para el año 2017 se estima una demanda máxima de 3,1KWh/día y mensualmente 93,14KWh. (Los Autores, 2015)

### 3.2 Cuantificación de los desechos de la granja porcina

Para determinar la cantidad de estiércol que se produce en la granja, se consideró que el alimento principal de los porcinos es balanceado en su totalidad. La granja cuenta con 11 espacios de dimensiones de 6m<sup>2</sup> en los cuales se encuentran varios cerdos de diferente tamaño, desde crías que van desde los 5Kg hasta los adultos que se encuentran en un peso aproximado de 200Kg. Es interesante mencionar que del balanceado que consumen, el 95% es aprovechado para su crecimiento y desarrollo y tan sólo el 5% es desechado como estiércol; esto a diferencia de los alimentos tradicionales como: cema, arrocillo, desechos alimenticios de humanos (lavaza), etc., en donde el animal aprovecha el 5% y desecha el 95%. (Los Autores, 2015)

El estiércol que se obtiene es recolectado un día a la semana, la recolección del estiércol se hizo durante varios días, siguiendo los pasos descritos:

Cuando se realiza la limpieza del establo, para la fecha del día 01-11-14, se encontraban 14 animales, de diferente tamaño, como se presenta en la Figura 25.



Figura 25: Cerdos de diferente tamaño

Fuente: (Los Autores, 2015)

La cantidad total de biomasa obtenida el mencionado día fue de 90Kg.

La cuantificación se realiza mediante el peso de la biomasa, para determinar el peso se utilizó herramientas como son una pala, una báscula y un recipiente de 5 galones que se aprecian en la Figura 26; con lo que se establece el peso que abarca cada pala de estiércol, siendo el peso de 7,7 lbs, este valor es el promedio de varias mediciones presentados en la Tabla 10. (Los Autores, 2015)



Figura 26: Estimación del peso de biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

Nº de Prueba/por pala	Peso (Lbs)
1	8,5
2	7,5
3	8
4	7
5	7,5

Tabla 10: Cantidades de medición de biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

Una vez determinado el peso de biomasa por cada pala, se procede a cuantificar en una carretilla, ya que es mucho mejor y más rápido de tomar datos en grandes cantidades, cada carretilla tiene un peso de biomasa de 40Kg lo que equivale a 11,5 palas, en la Figura 27 se presenta una carretilla con 40Kg (88,18 lb) de biomasa de cerdo, semanalmente se recolecta 2,25 carretillas de excremento que equivale a 90 Kg (198,42 lb). Cabe recalcar que la biomasa es 100% el excremento del cerdo, la orina no influye para este estudio, ya que en la granja tiene otro tratamiento por lo tanto no se considera en todo el proceso. (Los Autores, 2015)



Figura 27: Carretilla con biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

También la biomasa se la cuantifica por canecas de 5 galones de capacidad, de forma similar que en la carretilla se determina la cantidad de biomasa necesaria para llenar una caneca que es de 7 palas con el peso promedio de 7,7 lbs cada pala, se tiene un peso total por caneca de 24,44 Kg (53,9 lbs) de biomasa, ocupando un volumen de 5 galones (18,92lts), como se aprecia en la Figura 28. (Los Autores, 2015)



Figura 28: Caneca de 5 galones con biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

En la Tabla 11 se presenta la cantidad de biomasa recolectada en diferentes fechas, la cual varía en función a la cantidad de animales presentes de acuerdo a su peso y tamaño.

Número de animales presentes en la recolección	Peso vivo (Kg)	Cantidad (Kg)	Fecha (dd/mm/aa)
17	100-200	120	17/10/2014
15	100-200	105	24/10/2014
14	100-200	90	01/11/2014
34	100-200	130	27/11/2014
30	100-200	125	16/12/2014

Tabla 11: Recolección de biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

### 3.2.1 Diseño y construcción del Biodigestor

El diseño y construcción del biodigestor se lleva a cabo de acuerdo a las características de la granja, la localidad en la que se encuentra situada la misma por condiciones climáticas y principalmente a la cantidad de biomasa recolectada.

### 3.2.1.1 Diseño del biodigestor

Para almacenar la biomasa recolectada se realizó el diseño y construcción de un biodigestor, el mismo que se lo desarrolla en pequeña escala para comprobar la producción de biogás.

Para el biodigestor se debe considerar principalmente la cantidad de biomasa a almacenar, y el tipo de alimentación que es de cúpula fija, como se presentó en el capítulo anterior.

Con el propósito de estudio y manipulación se utiliza el diseño que se presenta en la Figura 29, el cual presenta las siguientes características:

- Es adecuado para realizar pruebas en la granja en estudio, debido a su fácil manipulación.
- Permite obtener mediciones de temperatura y presión las cuales son de importancia para el análisis del biogás.
- Se encuentra conformado con materiales de fácil adquisición.
- Permite tener un nivel constante de biomasa dentro del biodigestor ya que si excede de dicho nivel la biomasa será expulsada por el desfogue.
- Garantiza la hermeticidad para la formación del biogás, permitiendo la entrada de biomasa hacia el fondo asegurando en la parte superior un vacío total.
- Salida del bio-abono por intermedio de un salida al fondo del biodigestor.

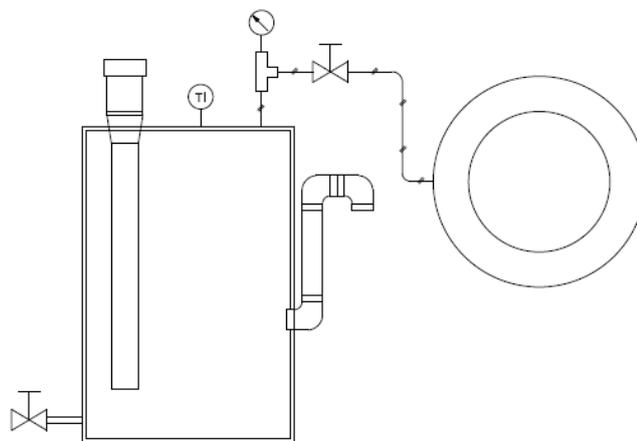


Figura 29: Diseño del biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)

Las partes y medidas del biodigestor se presentan en la Figura 30, la unidad de las medidas indicadas se encuentran centímetros, en la Tabla 12 presenta la descripción de los principales elementos del biodigestor.

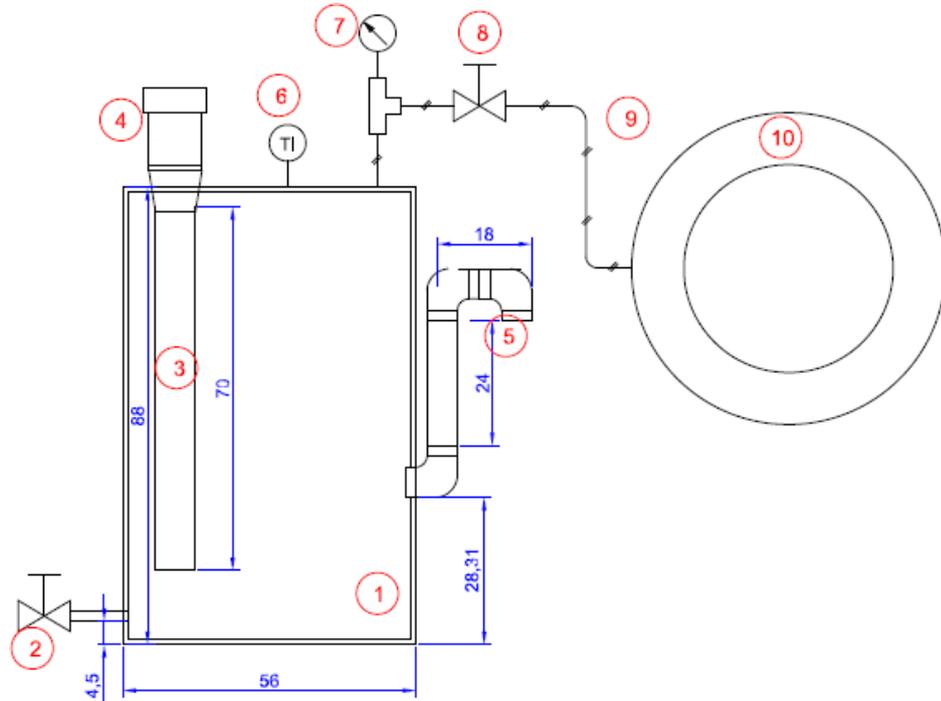


Figura 30: Partes y medidas del biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)

Ítem	Descripción
1	Tanque digestor 55 galones
2	Válvula de salida
3	Tubo de alimentación de biomasa
4	Tapa de tubo de alimentación de biomasa
5	Desfogue de biomasa
6	Indicador de Temperatura
7	Manómetro
8	Válvula de salida de biogás
9	Manguera para biogás
10	Acumulador de gas

Tabla 12: Descripción de partes del biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para tener una mejor comprensión del biodigestor en la Figura 31 se presenta un esquema en 3D en la que se observa claramente cómo se adapta cada parte, y en la Figura 32 se tiene una presentación del biodigestor ya más realista.

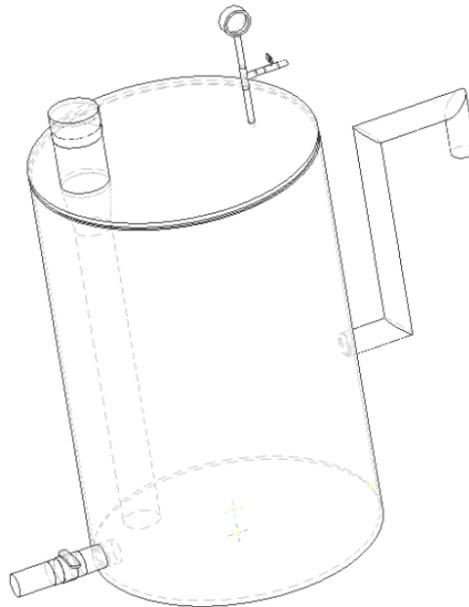


Figura 31: Diseño en 3D  
Fuente: (Los Autores, 2015)

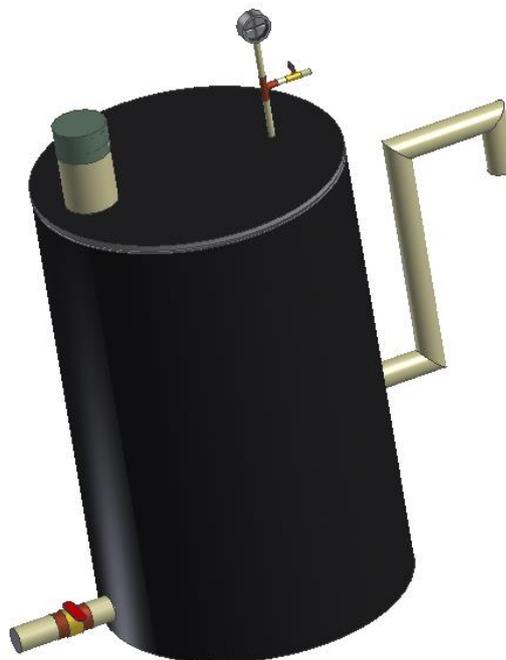


Figura 32: Presentación del biodigestor  
Fuente: (Los Autores, 2015)

### 3.2.1.2 Construcción del biodigestor

Para acumular la mezcla de la biomasa con el agua se dispone de un tanque de almacenamiento negro de 55 galones, de material plástico resistente al calor, de fácil manipulación para las respectivas instalaciones de los accesorios. Con el diseño establecido en la Figura 29 en la parte inferior del tanque se coloca una llave de una pulgada para la descarga de lodos que se formen en el biodigestor como se observa en la Figura 33. (Los Autores, 2015)

De igual manera se coloca un desfogue de la biomasa conformada por 3 codos y un tubo de 2 pulgadas como se observa en la Figura 34, para tener un control de nivel de llenado de biomasa, cuyo principio de funcionamiento es por gravedad, el cual conforme el tanque se llena irá aumentando de nivel hasta llegar a su nivel máximo de desfogue, de esta manera se garantiza que el 25% de la parte superior del biodigestor quede totalmente vacío para almacenamiento de biogás. (Los Autores, 2015)



Figura 33: Llave de salida de lodos

Fuente: (Los Autores, 2015)



Figura 34: Desfogue de Biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

La alimentación de la biomasa hacia el tanque se realiza por una entrada de tubo PVC (4") que se observa en la Figura 35, el mismo se conecta a un tubo PVC (3") por medio de una reducción, la longitud desde la parte superior hacia la inferior pertenece al 75% de la longitud total del biodigestor para que la mezcla ingresada llegue al fondo y se disperse uniformemente hasta la altura del desfogue, en la Figura 36 se aprecia la manera que se realizó la conexión.



Figura 35: Alimentación del biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)



Figura 36: Reducción de la alimentación

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para la salida del biogás se hace uso de un tubo de  $\frac{1}{2}$  pulgada con una llave tipo mariposa la misma que a la salida se acopla a una manguera de gas por medio de una reducción de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{1}{8}$ ", además se implementa una "Tee" de plástico de media pulgada para hacer una derivación para la salida de gas y colocar un manómetro para poder medir la presión, como se observa en la Figura 37.



Figura 37: Salida de biogás y Manómetro

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para obtener el cierre hermético del biodigestor se lo realiza con un material metálico llamado “zincho”, en la tapa del tanque el cual necesita de presión para cerrarlo y quede sellado totalmente, la ubicación del “zincho” se presenta en la Figura 38.



Figura 38: Ubicación del “zincho”

Fuente: (Los Autores, 2015)

Con la finalidad de mantener la temperatura adecuada para la formación de biogás, se forró el biodigestor con un material plástico padding de 3mm seguido de dos fundas plásticas industriales, como se observa en la Figura 39.



Figura 39: Forrado de Biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)

Para cuantificar el biogás generado se cuenta con un manómetro y una termocupla Figura 40 que se encuentra en el interior del biodigestor, esto nos permite tener una estadística de presión y temperatura, estas cantidades serán usadas más adelante para calcular el gas generado mediante fórmulas.



Figura 40: Medidor de temperatura

Fuente: (Los Autores, 2015)

En la Figura 41 se presenta las partes constitutivas del biodigestor implementado para la granja porcina.



Figura 41: Partes del biodigestor  
Fuente: (Los Autores, 2015)

En el ANEXO 4 se presenta la lista de materiales empleados para la construcción del biodigestor. (Los Autores, 2015)

### 3.3 Medición de la cantidad de biogás generado por los desechos

Para medir la cantidad de biogás que se genera es necesario conocer la cantidad de biomasa depositada en el biodigestor, la presión y temperatura.

#### 3.3.1 Cantidad de biomasa introducida en el biodigestor.

La mezcla que contiene el biodigestor es una mezcla de agua y biomasa, por cada tercio de biomasa  $1/3$  se agregó  $2/3$  de agua, (Ramírez Rodríguez, 2004), esto se realizó con la ayuda de un balde de 5 galones de agua en la cual se llenó la cuarta parte de biomasa y las  $2/4$  partes con agua, en la Figura 42 se puede apreciar la mezcla obtenida para el biodigestor. (Los Autores, 2015)



Figura 42: Mezcla de biomasa y agua

Fuente: (Los Autores, 2015)

El agua que se utiliza para realizar la mezcla debe ser no tratada, por ello se utilizó agua de río (agua cruda), ya que contiene microorganismos que ayudan acelerar el proceso de putrefacción, lo contrario sí se usa agua potable esta al contener cloro elimina a los microorganismos de la biomasa haciendo más lento el proceso de putrefacción. (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

El biodigestor contiene las  $\frac{3}{4}$  de la mezcla (agua más biomasa) que equivale a un volumen de  $0.1905 \text{ m}^3$  que se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Ecuación 2: Volumen del cilindro

Donde:

$r = 0,277 \rightarrow$  Radio interno del biodigestor

$h = 0,88 \rightarrow$  Altura del biodigestor

$$\therefore V = (3,1416)(0,88m \cdot \frac{3}{4})(0,277m)^2$$

$$V = 0,15903 \text{ m}^3$$

La cantidad de biomasa introducida en el biodigestor tiene un peso 67,23 kg (148,22 lb), ocupando un volumen de una cuarta parte ( $\frac{1}{4}$ ) en el biodigestor que equivale a 13,75 galones ( $52,04\text{lbs}=0,052\text{m}^3$ ), y agregando agua se ocupa las tres cuartas partes ( $\frac{3}{4}$ ) del biodigestor, con lo que se tiene un volumen total de la mezcla de 41,25 galones ( $159,03 \text{ lbs}=0,15903 \text{ m}^3$ ), como se presenta en la Figura 42: Mezcla de biomasa y agua. (Los Autores, 2015)

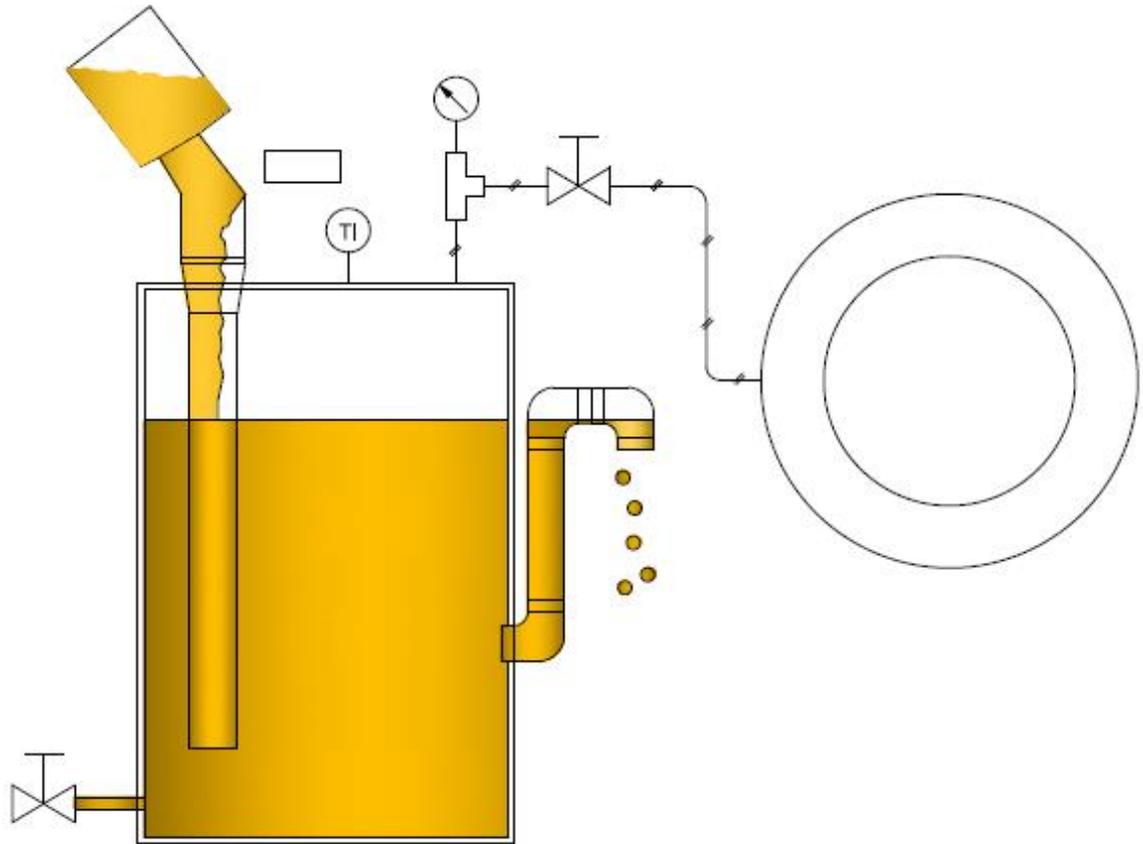


Figura 43: Llenado de mezcla agua y biomasa

Fuente: (Los Autores, 2015)

### 3.3.2 Presión y temperatura del biodigestor

Los valores de temperatura se obtienen a través de la medición con la termocupla y la presión mediante datos que entrega el manómetro. Diariamente se registraron valores de temperatura y presión, en el día sábado 29/11/14 la presión tiene un valor de cero ya que ese día se extrajo el biogás del biodigestor en el gasómetro, los valores obtenidos se presentan en la Tabla 13. (Los Autores, 2015)

Día	Fecha	Hora	Temperatura en °C	Presión
Viernes	14/11/2014	11:00	17,5	0
Sábado	15/11/2014	11:00	22,5	0,5
Domingo	16/11/2014	11:00	23,5	1,7
Lunes	17/11/2014	11:00	22,5	2,8
Martes	18/11/2014	11:00	24,5	3,4
Miércoles	19/11/2014	11:00	17	3,7
Jueves	20/11/2014	11:00	25	5,6
Viernes	21/11/2014	11:00	11	5,8
Sábado	22/11/2014	11:00	15	6,2
Domingo	23/11/2014	11:00	22,5	8,2
Lunes	24/11/2014	11:00	23	10,1
Martes	25/11/2014	11:00	26	12,1
Miércoles	26/11/2014	11:00	26,3	13,5
Jueves	27/11/2014	11:00	30	14,3
Viernes	28/11/2014	11:00	27,5	15,03
Sábado	29/11/2014	11:00	29	0
Domingo	30/11/2014	11:00	29,5	1
Lunes	01/12/2014	11:00	26	1,7
Martes	02/12/2014	11:00	16,5	1,9
Miércoles	03/12/2014	11:00	31	5,4
Jueves	04/12/2014	11:00	29,5	5,7
Viernes	05/12/2014	11:00	29	5,9
Sábado	06/12/2014	11:00	25,8	6,2
Domingo	07/12/2014	11:00	11	6,4
Lunes	08/12/2014	11:00	26	8,3
Martes	09/12/2014	11:00	28	10,3
Miércoles	10/12/2014	11:00	31,5	13,4
Jueves	11/12/2014	11:00	27	13,9
Viernes	12/12/2014	11:00	29	14,8
Sábado	13/12/2014	11:00	26	15,03

Tabla 13: Temperatura y presión diaria

Fuente: (Los Autores, 2015)

Con los datos obtenidos de presión y temperatura del biodigestor en la granja, en los meses de noviembre y diciembre del 2014, se tuvo un valor de temperatura máximo de 31,5°C, en un tiempo de retención de 30 días, generando una presión de 15 psi a los quince días de iniciada la fermentación, el biogás generado se retiró del biodigestor por las características constructivas del mismo, es decir, para evitar daños por la presión dentro del biodigestor. En la Figura 44 se presenta la curva de generación del biogás, presión-temperatura con relación al tiempo. (Los Autores, 2015)

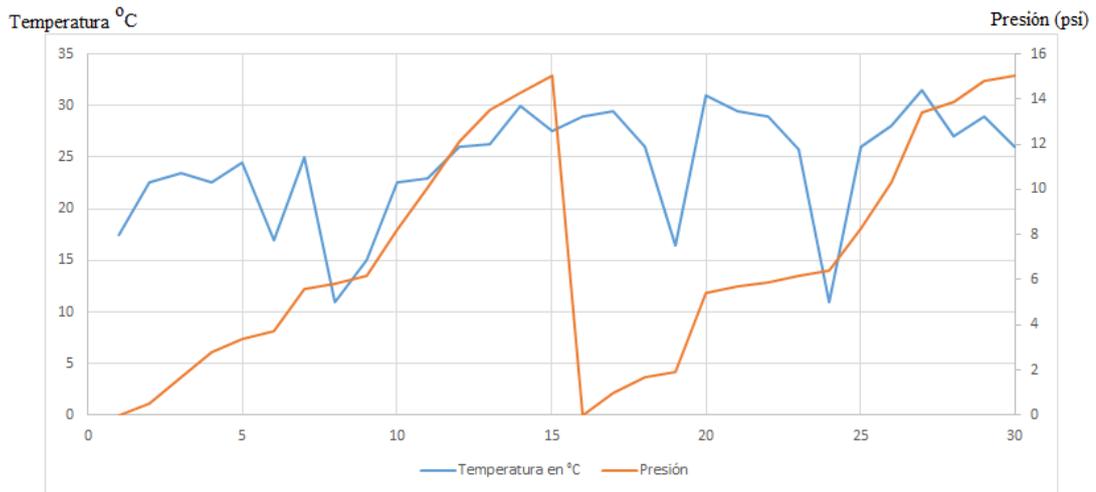


Figura 44: Curva de generación de biogás

Fuente: (Los Autores, 2015)

Mediante los datos obtenidos en el biodigestor de prueba, se procede a realizar la estimación de biogás generado.

### Medición del Potencial de hidrogeno

La medición del nivel de PH del proceso de biodigestión, se realizó en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca, en el laboratorio de Análisis Químico. Se seleccionaron tres muestras del proceso, con el fin de determinar el comportamiento del PH.

La primera muestra está conformada por estiércol puro, la segunda constituye la mezcla de la biomasa con agua no trata con relación 2:1, y la tercera muestra es el resultado final del proceso de bio-digestión. En la Figura 45 se observa la medición del nivel de PH de la primera muestra la cual indica un nivel de PH de 8.



Figura 45: Medición de PH

Fuente: (Los Autores, 2015)

Los resultados mostrados por el medidor de PH, para la segunda y tercera muestra se presentan ANEXO 5 respectivamente.

En la Tabla 14 se presenta los valores de nivel de PH obtenidos en las diferentes muestras, estos valores están dentro del rango requerido para el proceso de biodigestión que es de 6,8-7,5.

Muestra	Nivel PH
Estiércol Puro	8
Estiércol con Agua	7,7
Estiércol Procesado	6,8

Tabla 14: Nivel de PH de muestras

Fuente: (Los Autores, 2015)

### 3.3.3 Cantidad de metano generado con la mezcla

#### 1. Volumen de la mezcla de biomasa

$$V = 0,15903 \text{ m}^3 \rightarrow 159,03 \text{ litros}$$

#### 2. Cálculo del metano

$$V = 159,030 \text{ litros}$$

$$T = 24,3^\circ\text{C} = 297,3^\circ\text{K}$$

$$R = 0,08 \text{ atm} * \text{ lts}/^\circ\text{Kmol}$$

$$P = 1,023 \text{ atm}$$

$$PV = nRT$$

Ecuación 3: Fórmula de los gases ideales

$$n = \frac{1,023 \text{ atm} * 159,03 \text{ l}}{(0,08 \text{ atm} * \text{ l}/^\circ\text{Kmol}) * 297,3^\circ\text{K}}$$

$$n = 6,8 \text{ mol}$$

#### 3. Cálculo de la cantidad de metano $CH_4$

Peso Molar:  $PM$

Carbono: <i>C</i>	12 * 1	12
Hidrógeno: <i>H</i>	1 * 4	4
	<i>Total</i>	16 <i>gr/mol</i>

$$masa = n \cdot PM$$

$$masa = 6,8 \text{ mol} * 16 \text{ gr/mol}$$

$$masa = 108,8\text{gr}$$

Entonces como resultado se tiene que con 67,23 kg (148,22 lb) de biomasa se obtiene 108,8 gramos de metano. (Los Autores, 2015)

#### 4. Cálculo de volumen de metano generado $V_{CH_4}$

Para calcular el volumen de metano generado se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- **Materia orgánica:** Estiércol de cerdos, el cual es recolectado semanalmente de la granja porcina.
- **Cantidad de residuo (T):** Es la cantidad de biomasa producida diariamente.
- **Contenido total de sólidos (TS):** Corresponde a la cantidad total de biomasa pura.
- **Contenido de sólidos volátiles (VS):** Es la parte total de sólidos que se puede transformar en biogás.
- **Potencial de producción de metano BO:** Volumen de metano por masa de sólidos en  $m^3CH_4/kg \cdot VS$ , en la Tabla 15 se presenta los valores de BO de residuos orgánicos.

Residuo orgánico	BO $m^3CH_4/kg \cdot VS$
Vaca	0,35
Desechos municipales	0,2
Cerdo	0,45
Gallinas	0,39
Aguas negras	0,406

Tabla 15: Cantidad de BO de residuos orgánicos

Fuente: (Maricela Rocano Tenezaca, 2007)

Una vez determinado estos factores se a realizar el cálculo del volumen de metano a partir de la cantidad de biomasa obtenida, para ello hay que tener en cuenta el tiempo de retención RT y la temperatura TC. La expresión para calcular el volumen de metano producido está dada por la Ecuación 4:

$$V_{CH_4} = BO \cdot VS \cdot \left( \frac{K}{U \cdot RT - 1 + K} \right)$$

Ecuación 4: Volumen del Metano

Donde:

$V_{CH_4}$ : Volumen de metano en m<sup>3</sup>/día

$VS$ : Contenido de sólidos volátiles en Kg por día

$BO$ : Potencial de producción de metano

$RT$ : Tiempo de retención de la materia orgánica

$TC$ : Temperatura del biodigestor

$K$ : Descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo es una cantidad adimensional.

$$K = 0,6 + 0,0006 \cdot e^{(0,1185 \cdot VS)}$$

Mediante el análisis realizado en el 30<sup>vo</sup> día, se determinó que la cantidad de la mezcla restante en el biodigestor corresponde al 45,46%, entonces la cantidad de biomasa que se transformó en biogás es 54,54% (0,54). (Los Autores, 2015)

$$VS = 0,54$$

$$K = 0,6 + 0,0006 \cdot e^{(0,1185 \cdot 0,54)}$$

$$K = 0,60063965$$

$U$ : Crecimiento de producción de metano con el cambio de temperatura por día.

$$U = 0,013 \cdot TC - 0,129$$

$$U = 0,013 \cdot 24,3 - 0,129$$

$$U = 0,1869$$

$$V_{CH_4} = 0,45 \cdot 0,54 \cdot \left( \frac{0,60063965}{0,1869 * 30 - 1 + 0,60063965} \right)$$

$$V_{CH_4} = 0,0283m^3/día$$

Entonces se determina que con un kilogramo de biomasa puede generar 0,0283 m<sup>3</sup> de biogás diarios, y con 67,23 Kg de biomasa inicial contenida en el biodigestor de prueba, se puede generar 1,9 m<sup>3</sup> de biogás/día. (Los Autores, 2015)

### **3.4 Determinación de la energía eléctrica generada por el biogás.**

Para determinar la energía eléctrica generada por el biogás, se debe estipular la cantidad de KWh que se genera con un volumen específico de biogás. En base a estudios realizados se estima que un 1m<sup>3</sup> de biogás genera 1,3-1,6KWh<sup>3</sup>, de acuerdo al análisis BO que se observa en la Tabla 15 el estiércol de cerdo contiene mayor porcentaje de descomposición por ello se establece que se generará 1,6KWh.

Si 1kg de estiércol produce 0,0283m<sup>3</sup>/día de biogás, y con 1m<sup>3</sup> de biogás se genera 1,6KW-h, entonces con 90kg de biogás se generará:

$$V_{biogás} = 90Kg * \frac{0,0283m^3/día}{1kg} = 2,55m^3/día$$

Con este volumen de biogás se puede generar 4,08KWh.

### **3.5 Estimación de la demanda eléctrica abastecida por el aprovechamiento del biogás.**

La estimación de la demanda eléctrica abastecida se determinará para los próximos tres años (2015-2017), con relación a la energía eléctrica generada con los 90Kg de biomasa que se produce en la granja, para este cálculo es necesario conocer el volumen del biodigestor para la recolección de biomasa y generación biogás el cual será implementado en la granja.

---

<sup>3</sup> Tecnología del biogás, [www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm)

El volumen del biodigestor está dado por la siguiente ecuación:

$$VD = TS * FD * RT$$

Ecuación 5: Volumen del Biodigestor

Donde:

*VD*: Volumen del biodigestor en litros

*TS*: Contenido de sólidos que ingresan en el digestor en kg por día

*FD*: Factor de dilución del residuo **3** (1 de biomasa+2 de agua)

*RT*: Tiempo de retención en días

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona en la que está ubicada la granja se estima que el tiempo de retención de la materia prima es de 30 días, en este tiempo la mezcla perderá completamente sus propiedades energéticas.

### 3.5.1 Volumen del biodigestor VD

- Cálculo del volumen necesario para la recolección de 90 kg

$$V_{biomasa} = 90 * 3 * 1$$

$$V_{biomasa} = 270 \text{litros}$$

- Cálculo del volumen del biodigestor. Se considera que la cantidad de estiércol diario obtenido es de:

$$TS = \frac{90 \text{kg}}{7 \text{días}} = 12,85 \approx 13 \text{kg/día}$$

Diariamente se obtiene 13kg de estiércol, pero de acuerdo al análisis de sólidos volátiles el 54,54% de biomasa se transforma en energía, por lo que, se requiere ingresar 3,27kg/día de estiércol (Los Autores, 2015) para mantener la producción de biogás constante.

Debido a que la generación de biogás está en función de la temperatura, se establece que los 3,27kg/día de estiércol, serán ingresados al biodigestor si la temperatura está en el rango de 24 - 32°C, (Los Autores, 2015), caso contrario no se deberá ingresar biomasa al biodigestor.

$$RT = 30$$

$$V_{biomas-día} = ((3,27kg/día) * 3 * 30 días) * 0.5454$$

$$V_{biomas-día} = 160,5 \text{ litros}$$

$$\therefore VD_{T1} = 160,5 + 270$$

$$VD_{T1} = 430,5 \text{ litros}$$

$$VD_{T1} = 0,431m^3$$

- El volumen total del biodigestor es el volumen de la biomasa más el volumen del biogás:

$$V_{biogás} = 90 * 0,0283$$

$$V_{biogás} = 2,55 m^3$$

$$VD = 0,431 + 2,55$$

$$VD \approx 3 m^3$$

El volumen de biogás producido es  $2,55m^3$  que nos permite generar aproximadamente 4,08KWh.

De acuerdo a los cálculos realizados con la biomasa de 90Kg se generará 4,08KWh, con esta energía se estimará la demanda abastecida hasta el año 2017, para ello se plantean dos escenarios.

1. Generación de 2,41KWh/día para el año 2015 (demanda máxima)
2. Generación de 3,1KWh/día a futuro en el año 2017 (demanda máxima)

### 3.5.2 Escenario 1: Demanda 2,41KWh/día, para el año 2015

Para generar 2,41KWh, se necesitan 53,22Kg de biomasa. La demanda de este escenario será 100% abastecida.

- Calculo del volumen necesario para la recolección de 53,22Kg

$$V_{biomasa} = 53,22 * 3 * 1$$

$$V_{biomasa} = 159,67 \text{ litros}$$

- Volumen de estiércol diario:

$$TS = 13\text{kg/día}$$

Se cuenta con 13kg/día de estiércol, y con VS=54,54%, la cantidad necesaria de biomasa para mantener el nivel en 53,22kg es 1,94kg/día, el ingreso de biomasa será bajo la condición de temperatura anteriormente mencionada.

$$RT = 30$$

$$V_{biomas-día} = (1,94 * 3 * 30 \text{ días}) * 0,5454$$

$$V_{biomasa-día} = 95\text{litros}$$

$$VD_{T1} = 254,67\text{litros}$$

$$VD_{T1} \approx 0,25\text{m}^3$$

- El volumen total del biodigestor es el volumen de la biomasa más el volumen del biogás:

$$V_{biogás} = 53,22 * 0,0283$$

$$V_{biogás} = 1,51 \text{ m}^3$$

$$VD = 0,25 + 1,51$$

$$VD = 1,76\text{m}^3$$

### 3.5.3 Escenario 2: Demanda 3,1KWh/día, para el año 2017

Para generar 3,1KWh, se necesitan 68,46Kg de biomasa. La demanda de este escenario será 100% abastecida.

- Calculo del volumen necesario para la recolección de 68,46Kg

$$V_{biomasa} = 68,46 * 3 * 1$$

$$V_{biomasa} = 205,39\text{litros}$$

- Volumen de estiércol diario

$$TS = 13\text{kg/día}$$

Se cuenta con 13kg/día de estiércol, y con VS=54,54%, la cantidad necesaria de biomasa para mantener el nivel en 68,46kg es 2,49kg/día, el ingreso de biomasa será bajo la condición de temperatura anteriormente mencionada.

$$RT = 30$$

$$V_{biomas-día} = (2,49 * 3 * 30) * 0,5454$$

$$V_{biomasa-día} = 122,2litros$$

$$VD_{T1} = 327,58 litros$$

$$VD_{T1} \approx 0,33m^3$$

- El volumen total del biodigestor es el volumen de la biomasa más el volumen del biogás:

$$V_{biogás} = 68,46 * 0,0283$$

$$V_{biogás} = 1,94 m^3$$

$$VD = 0,33 + 1,94$$

$$VD = 2,27m^3$$

Los resultados obtenidos en el análisis de los dos escenarios se presentan en la Tabla 16.

Cantidad de biomasa (Kg)	Volumen de biogás (m <sup>3</sup> )	Volumen del biodigestor (m <sup>3</sup> )	Energía generada (KWh)	Energía abastecida (%)
53,22	1,51	1,76	2,41	100
68,46	1,94	2,27	3,1	100

Tabla 16: Resultados del escenario 1 y 2 respectivamente

Fuente: (Los Autores, 2015)

Mediante los datos de la Tabla 16 se puede determinar que para el escenario 1 y 2 existirá un excedente de biogás, este excedente se podrá usar para energizar la campana de calor que en la actualidad utiliza GLP. (Los Autores, 2015)

### 3.5.4 Selección del tipo de biodigestor

De acuerdo a los datos obtenidos en la sección anterior, el tipo de biodigestor seleccionado es el digestor con tanque de almacenamiento tradicional y cúpula de polietileno, cuyas características están dadas en el capítulo II en la subsección 2.6.6.

### 3.6 Selección del Equipo Generador de Energía Eléctrica.

La selección del equipo generador esta dado en función de la potencia que se desea generar, que en este caso es 4,08KWh; a continuación se presenta el equipo generador.



Figura 46: Motor generador

Fuente: (Guangzhou Dingfeng Machinery Co., Ltd. , 2010)

#### Características:

Modelo: DF 6500EG de Dingfeng Guangzhou LPG

- Voltaje estable
- Consumo de combustible con eficacia
- Disponible para las pequeñas plantas del biogás (biogás, combustible del metano)

#### Datos técnicos:

Generador 4.2kw

Sistema de generador del LPG de la alta calidad

Energía máxima (kilovatio) 5.5

Energía clasificada (kilovatio) 5.0  
 Voltaje clasificado (v), 110, 220 220/110, 220/380  
 Frecuencia clasificada (hertzio) 50/60  
 Factor de energía Cos=1.0  
 Regulador de voltaje AVR  
 Motor  
 Motor DF188FG modelo  
 Mecanografiar el solo cilindro, de cuatro tiempos, aire refrescado  
 Dislocación (cc) 389  
 Combustible, LPG  
 Bore\*Stoke (mm\*mm) 88\*64  
 Retroceso del sistema el comenzar que comienza/el comenzar eléctrico  
 Nivel de ruidos en los 7m (DB) 72  
 Sistema de ignición T.C.I.  
 Consumición del gas (m3/. Kilovatio. H) 0.30  
 Paquete  
 Dimensión (L\*W\*H) (milímetro) 700\*525\*560  
 Peso neto/bruto (kilogramo) 75/77 77/79  
 Quty/20" envase: 140 sistemas

### 3.7 Equipamiento

En esta sección se realiza el diseño del sistema de generación eléctrica; se consideran los componentes Tabla 17, de acuerdo a disposición de la granja.

Equipo	Descripción
Tanque de almacenamiento de biomasa	Tanque de polietileno de 55 galones
Biodigestor	De concreto y cúpula de polietileno
Filtro	Metal, para eliminar el H <sub>2</sub> S
Motor generador	Motor de biogás 4,2KW
Dispositivo de transferencia	Stwitch industrial

Tabla 17: Componentes principales

Fuente: (Los Autores, 2015)

El conductor seleccionado para la conexión entre el generador y el tablero de distribución es #10AWG (en el ANEXO 6 se presenta la tabla de conductores en función de la corriente que soportan) esto se determinó mediante la siguiente fórmula.

$$P = V * I \cos \varphi$$

$$I = \frac{4,2KW}{127V} \cos(85)$$

$$I = 38,9 A$$

En la Figura 47, se presenta un esquema general del proceso de generación eléctrica a partir de la biomasa, la cual es almacenada en un contenedor de 55 galones y conducida hacia el biodigestor por medio de una tubería de 4 pulgadas con una llave de paso que sirve para controlar el ingreso, el biodigestor incluye al gasómetro, el cual conforme se genera el biogás se expande hasta tener una forma similar al de la Figura 47, también se incluye el control de nivel por medio de tuberías de 2 pulgadas y una llave que sirve para evacuar el fertilizante obtenido después del proceso de biodegradación, posteriormente el biogás es evacuado por una manguera de presión de gas, es controlada por una llave de paso, seguidamente tiene un filtro para eliminar el ácido sulfúrico el cual provoca la corrosión en los metales y puede causar daño al generador eléctrico, luego del filtro se encuentra una desviación en “Tee” la cual deriva el biogás hacia el generador y en caso de necesitar de otra aplicación como la incineración se deriva hacia otro destino.

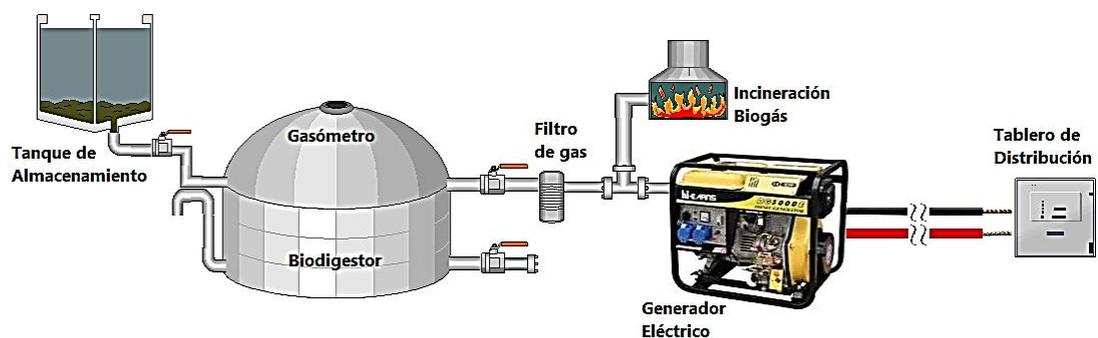


Figura 47: Equipamiento

Fuente: (Los Autores, 2015)

En la Tabla 18 se presentan las dimensiones del biodigestor propuesto.

Dimensiones	Total en (m)
Radio	1
Altura	0,95

Tabla 18: Dimensiones del biodigestor

Fuente: (Los Autores, 2015)

En la Figura 48 se presenta el diseño propuesto del sistema de generación en la granja porcina, se puede observar la ubicación del biodigestor, el sistema de almacenamiento y el motor generador.



Figura 48: Diseño general del sistema de generación en la granja

Fuente: (Los Autores, 2015)

En el Figura 49 se observa la conexión del biodigestor hacia el motor generador y la salida del cable #10AWG a un poste.



a) Vista frontal



b) Vista lateral

Figura 49: Diseño general del sistema de generación en la granja

Fuente: (Los Autores, 2015)

En la Figura 50 se observa el switch industrial que servirá para realizar la transferencia de energía, del sistema convencional al sistema de alimentación mediante generación con biogás.



Figura 50: Switch industrial

Fuente: (Los Autores, 2015)

*En el vínculo <https://www.youtube.com/watch?v=OuldwfEsXVY&feature=youtu.be> se realiza una presentación de la propuesta del diseño del biodigestor en la granja porcina.*

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

#### 4.1 Factores técnicos involucrados en el análisis financiero

Para realizar el análisis financiero del proyecto se debe conocer los siguientes conceptos:

##### 4.1.4 Costos

Son considerados los gastos que se realizarán para la implementación de un proyecto entre ellos tenemos:

##### 4.1.4.1 Costos fijos y variables

**Fijos:** son aquellos costos que se mantienen constantes en el transcurso del tiempo, y no varían en función de la cantidad producida, para este proyecto este costo será el de construcción del biodigestor ya que está constituido de materiales resistentes a condiciones extremas.

**Variables:** varían de acuerdo al volumen de producción.

##### 4.1.4.2 Costos directos e indirectos.

**Directos:** son costos propios de la producción, como costos de amortización.

**Indirectos:** se originan en la organización, dirección, control y mantenimiento.

##### 4.1.4.3 Inversión del proyecto

Los equipos y materiales necesarios para la implementación del proyecto se presentan en la Tabla 19, en la que se describe la cantidad de cada material y se indica el precio actual de cada artículo en el mercado, en dicha tabla se encuentran los materiales para la construcción del biodigestor y las instalaciones eléctricas.

Material	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Total
Cemento	8	qq	6,57	52,56
Arena	0,5	m3	10,56	5,28
Bloque	50	u	0,39	19,5
Plástico negro	4	m	1,32	5,28
Tubo PVC 110mm	1	u	11,3	11,3
Neplo 1"	1	u	0,66	0,66
Neplo 2"	1	u	1,32	1,32
Cinta Teflon 1/2"	1	u	0,3	0,3
Válvula Bola paso total 1"	1	u	10,4	10,4
Válvula Bola paso total 2"	1	u	67,03	67,03
Reducción Galv 1 a 1/2"	1	u	0,49	0,49
Codo Galv 1/2"	1	u	0,44	0,44
Manguera de 1/2"	3	m	0,2	0,6
Geomembrana	4	m	3,2	12,8
Agitador	1	u	50	50
Termómetro analógico	1	u	25	25
Manómetro de 100 psi	1	u	3,51	3,51
Mano de obra	1	u	150	150
Motor Generador	1	u	651,2	651,2
Dispositivo de transferencia	1	u	25	25
Cable #10 AWG	30	m	2,64	79,2
Instalación eléctrica	1	u	80	80
			Subtotal	1171,87
			IVA 12%	140,62
			<b>Total</b>	<b>\$ 1.312,49</b>

Tabla 19: Inversión del proyecto  
Fuente: (Los Autores, 2015)

**Observación:**

El precio del motor generador varía en función del lugar de adquisición, el precio establecido se solicitó vía internet. (El precio incluye impuestos de importación)

**4.1.4.4 Estimación de ingresos anuales del proyecto**

En la Tabla 20 se presentan los valores de recaudación de energía eléctrica que no se facturará en los próximos 10 años, en este periodo la geo-membrana y los accesorios del biodigestor perderán sus características normales de funcionamiento.

El precio del KWh tiene un costo de 0,105ctvs, valor que fue obtenido de los cargos tarifarios presentados por el CONELEC<sup>4</sup>.

Año	KW-h	Precio del KW-h (\$)	Total
1	731,16	0,105	76,77
2	808,06	0,105	84,85
3	938,83	0,105	98,58
4	1073,37	0,105	112,70
5	1146,46	0,105	120,38
6	1219,56	0,105	128,05
7	1292,65	0,105	135,73
8	1365,74	0,105	143,40
9	1438,84	0,105	151,08
10	1511,93	0,105	158,75

Tabla 20: Valor de energía eléctrica no facturada en 10 años

Fuente: (Los Autores, 2015)

Con estos datos, se procede al análisis financiero del proyecto, mediante el cálculo de los parámetros TIR y VAN, que servirán para determinar si el proyecto es viable y rentable.

## 4.2 Parámetros financieros

### 4.2.1 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un parámetro financiero, que mide los futuros egresos e ingresos de un proyecto, y permite determinar si el proyecto se convertirá en un éxito o fracaso a lo largo de un determinado tiempo. (Arturo K., 2014)

El VAN se determina con la siguiente ecuación:

$$VAN = BNA - Inversión$$

Ecuación 6: Fórmula del VAN

Donde:

BNA: beneficio neto proyectado, que incluye la tasa de descuento.

---

<sup>4</sup> Cargos Tarifarios, más información: [www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=3073&l=1](http://www.conelec.gob.ec/documentos.php?cd=3073&l=1)

Si:

VAN>0→ Proyecto es rentable

VAN=0→ Proyecto es rentable

VAN<0→ Proyecto no es rentable (Arturo K., 2014)

#### 4.2.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es un instrumento de evaluación de inversiones que mide la rentabilidad de un proyecto en porcentajes. (Iturrioz del Campo)

#### 4.2.3 Cálculo del TIR y VAN para el proyecto de tesis

Para el análisis económico se considera tasas porcentuales de mantenimiento, operación que van en función del equipamiento, también se considera la tasa de interés activa de 7,84% según el Banco Central del Ecuador.<sup>5</sup>

El cálculo del TIR y VAN, se realiza mediante el software de cálculo EXCEL, en la Tabla 21 se presenta los resultados obtenidos.

Cálculo del TIR y VAN			
Inversión	1.312,49	Mantenimiento	2,00%
Ingreso	76,77	Operación	1,00%
Tasa de interés	7,84%		

AÑO	Inversión inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso		76,77	84,85	98,58	112,70	120,38	128,05	135,73	143,40	151,08	158,75
Mantenimiento		-1,54	-1,50	-1,47	-1,45	-1,42	-1,39	-1,36	-1,33	-1,31	-1,28
Operación		-0,77	-0,78	-0,78	-0,79	-0,80	-0,81	-0,81	-0,82	-0,83	-0,84
Inversión	-1.312,49										
Total de egresos	-1312,49	-2,30	-2,28	-2,26	-2,24	-2,22	-2,19	-2,18	-2,16	-2,14	-2,12
Flujo de caja	-1312,49	74,47	82,57	96,32	110,47	118,16	125,86	133,55	141,25	148,94	156,63
TIR		-94%	-72%	-51%	-36%	-25%	-17%	-12%	-7%	-4%	-2%
VAN		-1243,44	-1172,44	-1095,64	-1013,96	-932,94	-852,92	-774,18	-696,96	-621,45	-547,82

Tabla 21: Cálculo del TIR Y VAN

Fuente: (Los Autores, 2015)

#### 4.3 Análisis de resultados

De acuerdo a los cálculos obtenidos en la tabla anterior, la inversión no se recupera hasta el 10mo año; se obtuvieron los siguientes valores:

- $VAN = -547,82$
- $TIR = -2\%$

<sup>5</sup> Indicadores Económicos, más información: <http://www.bce.fin.ec/index.php/indicadores-economicos>

Los resultados reflejan que no se puede recuperar la inversión en el periodo 2015-2024, sin embargo la implementación del proyecto permitirá autoabastecerse de energía eléctrica, e incurrir en el desarrollo de nuevas tecnologías para no ser dependientes de generadoras convencionales.

Es necesario recalcar que el proyecto no es rentable a corto plazo, debido a que es autofinanciado, y la cantidad de energía eléctrica a abastecer es pequeña.

***Observación:***

Para recuperar la inversión realizada del proyecto a corto plazo, sería necesario contar con el financiamiento de alguna institución ajena al proyecto.

#### 4.4 CONCLUSIONES

A partir del estudio realizado para este proyecto se puede expresar:

- La explotación de recursos no convencionales se encuentra en vías de desarrollo; el estudio de este proyecto representa una alternativa para el aprovechamiento de biomasa (desechos), que en la mayoría de granjas no tienen ningún tratamiento, y servirán para generar energía eléctrica.
- Un correcto tratamiento y uso de biomasa, ayuda a suplir necesidades energéticas tales como: la generación de energía eléctrica, la cocción de alimentos, etc. Además, al ser una energía limpia permite mantener el entorno en condiciones adecuadas y conseguir el buen vivir, mitigando en gran medida la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero.
- De acuerdo al estudio realizado en la granja porcina, la implementación de este proyecto permitirá autoabastecerse de energía; el propietario a más de beneficiarse económicamente, estará contribuyendo con el medio ambiente.
- La implementación de biodigestores para el proceso de degradación de la materia orgánica es muy favorable, al tener un proceso anaerobio, permite acumular el estiércol de cerdo dentro del biodigestor, de esta manera aislando completamente del entorno de las personas que habitan en la granja, acumulando en su interior el biogás para usos favorables de la sociedad.
- La selección del biodigestor depende de varios parámetros, como la planimetría del lugar, las dimensiones disponibles para la construcción, la temperatura de la zona, entre otros; el biodigestor propuesto para el proyecto es de cúpula de polietileno, en el que se descompone la materia orgánica y se genera el biogás que se almacena en la parte superior, expandiendo el polietileno según la producción de biogás.
- Para tener un correcto desempeño de un proyecto con biomasa, se debe llevar a cabo en el lugar o cerca de la producción de la materia prima, con la finalidad de evitar costos innecesarios de transporte de la materia prima hacia otros destinos, evitar gastos en equipamiento, como son equipos para las instalaciones eléctricas, etc.

- Los valores de energía del mes de agosto y septiembre de 2014 no se consideran para este estudio, debido a que se emplearon campanas eléctricas de calor; pero en la actualidad usan campanas de calor a gas.
- Con el estudio de la producción de biogás en la granja se llega a cubrir la demanda eléctrica de la granja en su totalidad, esto se determinó con el estudio del consumo eléctrico del usuario, el cual tiene un consumo máximo de 3,1 KWh que es cercano a 4 KWh, resultando no ser elevado debido a los equipos instalados y el poco uso de la energía según los hábitos del propietario.
- Aunque el proyecto no es rentable a corto plazo, la implementación del mismo permitirá no ser dependiente de las generadoras convencionales.

#### 4.5 RECOMENDACIONES

- Cuantificar la cantidad de recurso primario (biomasa), para determinar la cantidad de energía eléctrica que se puede generar
- Para realizar la mezcla de biomasa y agua, es necesario que el agua sea no tratada, para garantizar el proceso putrefacción y evitar eliminar las bacterias productoras de metano
- Realizar periódicamente la medición de parámetros importantes, como son temperatura, presión y PH, para controlar el proceso de biodigestión, con la finalidad de mantener la temperatura y presión del biodigestor en rangos aceptables de 24-31,5°C y 0-15PSI respectivamente
- Para conservar el nivel de temperatura en el rango descrito anteriormente se recomienda utilizar materiales, que permitan retener el calor tales como esponjas, plástico, etc, en este caso se usó el padding.
- Debido a que el biodigestor usado para realizar pruebas es de plástico se recomienda realizar el mantenimiento semanal ya que el calor provoca que el pegamento para unir las piezas pierda sus características de seguridad, lo cual provoca fugas de gas.
- Colocar un filtro en el biodigestor para eliminar el ácido sulfhídrico, para evitar la corrosión de los materiales metálicos.
- En caso de no disponer del generador eléctrico alimentado por biogás, se puede implementar en el motor de combustión interna de diesel o gasolina, un acoplamiento de gas, y tendrá características similares de funcionamiento.
- Verificar que el estiércol recolectado sea de ganado porcino que se encuentren en condiciones saludables, caso contrario, si se suministra algún tipo de producto químico (medicamento), el estiércol no será apto para el proceso de producción de biogás.

#### 4.6 REFERENCIAS

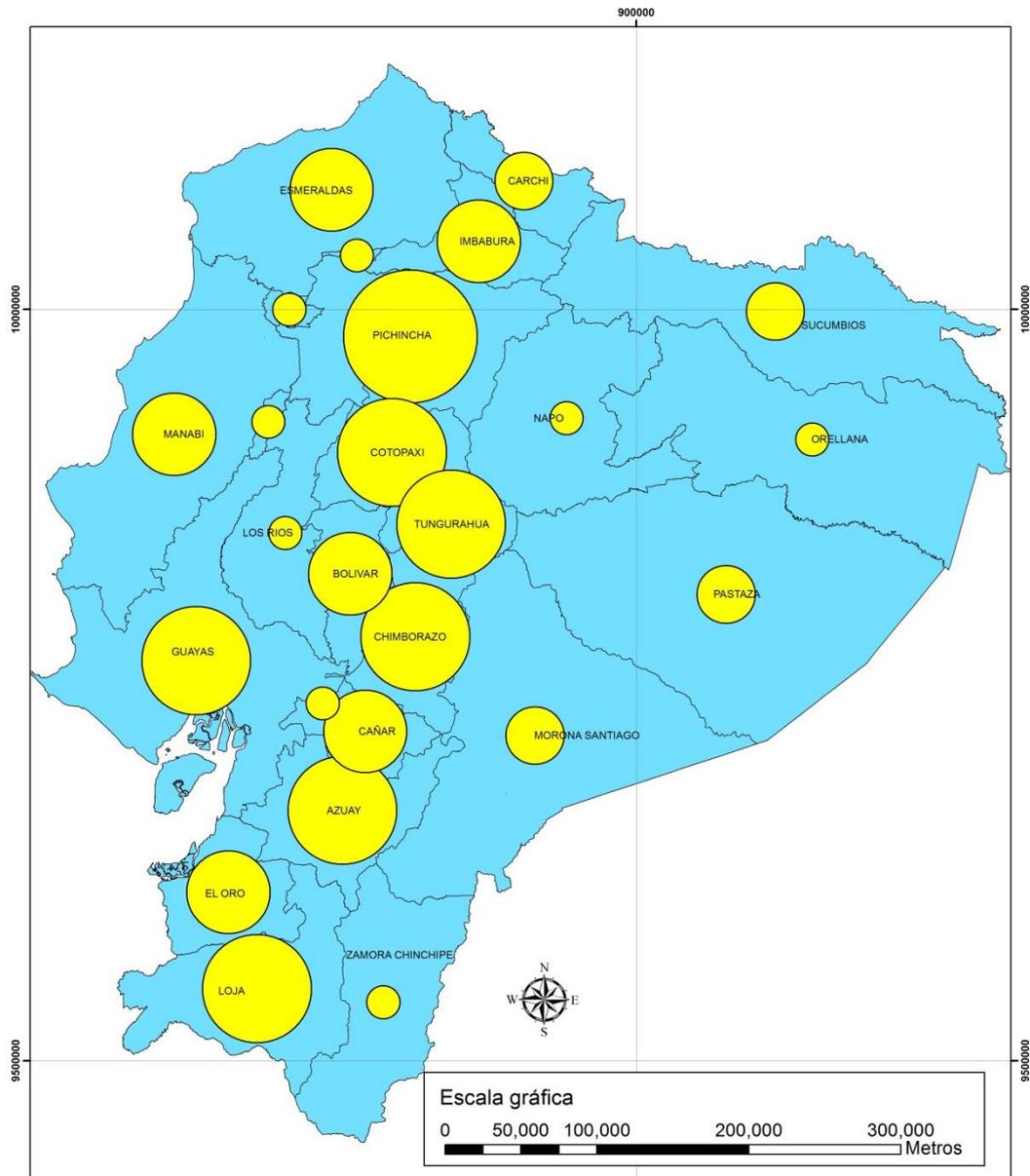
- (EERR), H. s. (05 de 2009). Obtenido de Biomasa Residual Húmeda: <http://geroperez.blogspot.com/2009/05/biomasa-residual-humeda.html>
- Ciclo Energías Renovables, Jornadas de Biomasa. Fundación CIRCE.* (2002). España.
- Alejandro Bautista Buhigas, A. A. (2010). *Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua)*. Tesis, Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior, Leganés.
- Arturo K. (17 de julio de 2014). *CreceNeocios*. Recuperado el 7 de Enero de 2014, de CreceNeocios: <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>
- Byron Alcívar González, C. F. (2007). *Estudio para el diseño de la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica alternativa a partir de desechos biodegradables*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil.
- Cabello Quiñonez, A. M. (2006). *Energías Alternativas: Solución para el Desarrollo Sustentable*. Adnuma - Chile: REFINOR S.A.
- Castells, X. (2004). *Biomasa y Bionergía: Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. España: Ediciones Díaz de Santos.
- Central, F. d. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa/ Biomass*. San José, Costa Rica.
- Chile, G. d. (s.f.). *Generadoras*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de <http://generadoras.cl/quienes-somos/>
- CIRCE, F. (2006). *Evaluación del Potencial de Biomasa Residual en los Ecosistemas Forestales y Medios Agrícolas en la Provincia de Huesca*. Huesca: Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos.
- CNAF, B. -O. (07 de 2014). Obtenido de Bioenergía Agrícola : [http://www.bioenergia-agricola.es/index.asp?ra\\_id=18](http://www.bioenergia-agricola.es/index.asp?ra_id=18)
- CONELEC. (2013). *Estudio y Gestión de la demanda eléctrica- Plan Maestro de electrificación 2013-2022*. Informativo, CONELEC, Cuenca.
- CONELEC. (2013). *Prespectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano- Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Informativo, Cuenca.
- Coordinación de Energías Renovables Dirección Nacional de Promoción Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. República Argentina: Tecnología de la Información.

- Corporación para la investigación Energética. (Septiembre de 2013). Obtenido de CIE: [http://www.energia.org.ec/cie/?page\\_id=45](http://www.energia.org.ec/cie/?page_id=45)
- CPSF Compesanfer S.A Oil Company San Fernando Stability & Professionalism in work. (Mayo de 2006). Obtenido de Servicios Energéticos: <http://compesanfer.com/ws/index.php/es/servicios/servicios-energeticos>
- Dr. Francisco Vergara, O. (2012). *Experiencias: Proyectos Energéticos Sector Eléctrico Ecuatoriano con Biomasa*. Informativo, CONELEC, Quito.
- Generación de Energía Alternativa a partir de Biomasa Cuenca-Ecuador. (2014). Obtenido de Slideshare: <http://es.slideshare.net/belenzea29/generacin-de-biogas-en-cuenca-ecuador>
- Gilbert, I. J. (s.f.). *Manual de Producción de biogás*. Instituto de Ingeniería Rural.
- Govern de les Illes Balears. (Julio de 2006). *Plan de eficiencia energética*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de Plan de eficiencia energética: [http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalennergia/pla\\_eficiencia\\_energetica/produccioenergia\\_1.es.html](http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portalennergia/pla_eficiencia_energetica/produccioenergia_1.es.html)
- Guangzhou Dingfeng Machinery Co., Ltd. . (2010). *Made-in-China.com*. Recuperado el 15 de Enero de 2014, de Made-in-China.com: [http://es.made-in-china.com/co\\_tanbill88/product\\_LPG-Generator-5kw-DF-6500EG-\\_hfhugihrg.html](http://es.made-in-china.com/co_tanbill88/product_LPG-Generator-5kw-DF-6500EG-_hfhugihrg.html)
- Guzmán, O. A. (2005). *Biodigestores una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes* . Informativo, Habidad Fundación Colombia , Quimbaya.
- Harper, E. (2011). *Tecnologías de Generación Eléctrica*. México: Limusa.
- Iturrioz del Campo, J. (s.f.). *Diccionario económico*. Recuperado el 7 de 1 de 2014, de Diccionario económico: <http://www.expansion.com/diccionario-economico/tasa-interna-de-retorno-o-rentabilidad-tir.html>
- Los Autores. (2014). *Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues sector Zhizhiquin*. TESIS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Cuenca.
- Los Autores, M. (2014). *Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues*. TESIS, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador.
- Maricela Rocano Tenezaca. (2007). *Diseño de un biodigestor aplicado a las centrales hidroeléctricas mediante la utilización del río acuático*. Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2012). *Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile*. Santiago de Chile.
- Moreno, P. M. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.

- Nogués, F. (2010). *Energía de la Biomasa (volumen I)*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Pérez, E. (2001). *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo: una economía impulsada por el sol*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- R Quezada, N. S. (2007). *Generación de Energía Eléctrica a Partir de Biogás*. Limón - Costa Rica: Universidad EARTH.
- Ramírez Rodríguez, L. D. (2004). *Generación Eléctrica por medio de Biogás*. Universidad de Costa Rica. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Renovables, C. d. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*. República de Argentina.
- Vinasco, J. P. (s.f.). *Tecnología del biogás*. Cali- Colombia.
- Waste, A. (s.f.). *Digestión Anaerobia*. Agro Waste.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1: Mapa de concentración de cabezas de ganado porcino según provincias del Ecuador**



PROVINCIAS	Ganado Porcino	PROVINCIAS	Ganado Porcino
AZUAY	142460	LOS RIOS	
BOLIVAR	88842	MANABI	66790
CAÑAR	62784	MORONA SANTIAGO	28489
CARCHI	14192	NAPO	4190
COTOPAXI	160060	PASTAZA	18123
CHIMBORAZO	118782	PICHINCHA	228218
EL ORO	46090	TUNGURAHUA	100125
ESMERALDAS	47163	ZAMORA CHINCHIPE	9858
GUAYAS	133890	SUCUMBIOS	18886
IMBABURA	47690	ORELLANA	3913
LOJA	145206		

PROYECTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE BIOMASA

Mapa de concentración de cabezas de ganado porcino según provincias

Elaborado por  
Corporación ENYA

Escala 1:2 500 000  
Fuente SIGAgro, Mapa lechero y ganadero del Ecuador, Estudio de Mercado ENYA

## ANEXO 2: Población de cerdos

Número de animales de la granja, viernes 17 de octubre de 2014

<b>Animales</b>	<b>Cantidad</b>
Hembras en reemplazo	7
Machos	2
Hembras en gestación	3
Lechones	5
<b>Total</b>	<b>17</b>

Número de animales de la granja, viernes 24 de octubre de 2014

<b>Animales</b>	<b>Cantidad</b>
Hembras en reemplazo	8
Machos	4
Hembras en gestación	3
Lechones	0
<b>Total</b>	<b>15</b>

Número de animales de la granja, viernes 27 de noviembre de 2014

<b>Animales</b>	<b>Cantidad</b>
Hembras en reemplazo	12
Machos	2
Hembras en gestación	2
Lechones	18
<b>Total</b>	<b>34</b>

Número de animales de la granja, martes 16 de diciembre de 2014

<b>Animales</b>	<b>Cantidad</b>
Hembras en reemplazo	5
Machos	2
Hembras en gestación	7
Lechones	16
<b>Total</b>	<b>30</b>

### ANEXO 3: Consumo Energético Empresa Eléctrica Azogues

EMPRESA ELECTRICA AZOGUES C.A. SISTEMA DE COMERCIALIZACION V1.1  
 Fecha: 11/11/2014 Consumos Mensuales por Cliente Prg: WCONCLIA  
 Hora.: 11:08:22 Orden...: Año ,Mes y Rango Horario Usu: PFLORES  
 Cliente.: 172270 CABRERA SEGOVIA MIGUEL REMIGIO

Año	M e s	Rango Horario	Clsf	Tip.Co	Consumo	Fec.Cálc.	Usr.Cálc.
2014	0	0					
2014	Noviembre	N-NORMAL	0/24	A	N	51	1/11/2014 BREYES
2014	Octubre	N-NORMAL	0/24	A	N	65	1/10/2014 HGARCIA
2014	Setiembre	N-NORMAL	0/24	A	N	99	1/09/2014 BREYES
2014	Agosto	N-NORMAL	0/24	A	N	157	1/08/2014 BREYES
2014	Julio	N-NORMAL	0/24	A	N	69	1/07/2014 BREYES
2014	Junio	N-NORMAL	0/24	A	N	60	1/06/2014 BREYES
2014	Mayo	N-NORMAL	0/24	A	N	54	1/05/2014 BREYES
2014	Abril	N-NORMAL	0/24	A	N	57	1/04/2014 BREYES
2014	Marzo	N-NORMAL	0/24	A	N	62	1/03/2014 BREYES
2014	Febrero	N-NORMAL	0/24	A	N	49	1/02/2014 BREYES
2014	Enero	N-NORMAL	0/24	A	N	48	1/01/2014 BREYES
2013	Diciembre	N-NORMAL	0/24	A	N	53	1/12/2013 BREYES
2013	Noviembre	N-NORMAL	0/24	A	N	50	1/11/2013 BREYES
2013	Octubre	N-NORMAL	0/24	A	N	63	1/10/2013 BREYES

F3=Salir F5=Redibujar F7=Imprimir F10=Barra de menu F12=Retornar



**ANEXO 4: Lista de Materiales del biodigestor**

<b>Nombre</b>	<b>Marca</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
Tanque negro reciclado	Plastigama	1	U	26,4	26,4
Pega tanque	Plapasa	3	U	4,87	14,61
Manómetro 0-100 PSI	Paolo	2	U	3,51	7,02
Funda plástica industrial	China	1	U	6,15	6,15
Bushings Galv. 1/2 a 1/4 "	Galv	2	U	0,25	0,5
Tapón macho 110 mm	Plastig- Predial	1	U	1,67	1,67
Unión PVC 110mm	Plastig- Predial	1	U	1,99	1,99
Cinta Empaque 40 yd	Shurtape	2	U	0,63	1,26
Tee R/R Poliprop 1/2 "	Plastig- Predial	1	U	0,47	0,47
Cuchilla 18mm	Stanley	1	U	1,07	1,07
Padding 3mm	Madis-PFL	4,4	M	0,65	2,86
Reducción PVC 110 a 75 mm	Plastig- Predial	1	U	2,9	2,9
Válvula Bola paso total 1 "	Italia	2	U	10,04	20,08
Llave paso mariposa 1/2 "	Edesa-G	4	U	3,91	15,64
Adaptador macho 1/2 "	Plastig- Predial	4	U	0,27	1,08
Adaptador para tanque 1 "	Plastig- Predial	2	U	4,6	9,2
Abrazadera acero inox 3/4 "	Tai	9	U	0,17	1,53
Adaptador para tanque 1/2 "	Plastig- Predial	2	U	1,89	3,78
Cinta Teflon 1/2 "	Edesa-G	1	U	0,3	0,3
Pega tubo 120 CC	Adheplast	1	U	0,49	0,49
Tapón hembra 110 mm	Plastig- Predial	1	U	1,45	1,45
Paga S-35 Expox	Devcon	1	U	3,95	3,95
Codo 110 mm	Plastig- Predial	1	U	2,72	2,72
Mangera P/Gás	Consuplast	4	M	0,2	0,8
Mangera P/Jardín	Consuplast	4	M	0,21	0,84
Neplo R/R Polip	Plastig- Predial	2	U	0,37	0,74
Tapón hembra 1"	Plastig- Predial	1	U	0,71	0,71
Tapón hembra galv 1"	Galv	1	U	0,45	0,45
Reducción Galv 1 a 1/2"	Galv	1	U	0,49	0,49
Cinta Tela Plateada	Shurtape	1	U	4,06	4,06
Unión R/R Poli 1 "	Plastig- Predial	1	U	0,94	0,94
Cinta Teflon 1 "	Hunter	1	U	0,83	0,83
Neplo Galv 1/2 " x 3"	Neplos	2	U	0,29	0,58
Neplo Galv 1/2 " x 6"	Neplos	2	U	0,67	1,34
Boquilla de mangera 3/8 " a 1/4 "	Campbell Hausfe	1	U	1,83	1,83
				<b>Subtotal</b>	140,73
				<b>IVA 12%</b>	16,89
				<b>Total</b>	157,62

## ANEXO 5: Medición de PH



a) PH de la mezcla de estiércol y agua, 1<sup>er</sup> día



b) PH de la mezcla de estiércol y agua, en el 30<sup>vo</sup> día

**ANEXO 6: Tabla de conductores**

<b>TABLA DE DATOS TECNICOS THW - 90 (AWG / MCM)</b>									
CALIBRE CONDUCTOR	SECCION NOMINAL	NUMERO HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
								AIRE	DUCTO
AWG/MCM	mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
14	2.1	7	0.60	1.75	0.8	3.4	28	35	25
12	3.3	7	0.76	2.20	0.8	3.8	40	40	30
10	5.3	7	0.96	2.78	0.8	4.4	59	56	40
8	8.4	7	1.20	3.61	1.1	5.9	98	80	56
6	13.3	7	1.53	4.60	1.5	7.6	161	107	75
4	21.1	7	1.93	5.80	1.5	8.9	240	141	96
2	33.6	7	2.44	7.31	1.5	10.4	363	192	130
1/0	53.4	19	1.87	8.58	2	12.7	570	260	170
2/0	67.4	19	2.10	9.64	2	13.8	704	300	197
3/0	85.1	19	2.35	10.82	2	15	871	350	226
4/0	107.2	19	2.64	12.15	2.4	17.1	1109	406	260
250	126.7	37	2.06	13.25	2.4	18.2	1289	457	290
300	151.9	37	2.25	14.51	2.4	19.5	1527	505	321
350	177.5	37	2.44	15.69	2.4	20.6	1769	569	350
500	253.1	37	2.91	18.73	2.8	24.5	2512	699	429

(\*) NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO / TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.