

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS PARA GENERACIÓN  
ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE YURACRUCITO**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la  
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Byron Paul Bolaños Champutiz

Tutor:

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

Ibarra - Ecuador

2019



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que se publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040188800-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Bolaños Champutiz Byron Paul		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Los Galeanos y Lola Orbe (3-61)		
<b>EMAIL:</b>	bpbolanosc@utn.edu.ec ; bolaosbyron@gmail.com		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062-984-617	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0999882698

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE YURACRUCITO
<b>AUTOR (ES):</b>	Bolaños Champutiz Byron Paul
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	16/12/2019
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSTGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	PhD. Gerardo Collaguazo

## CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de diciembre del 2019

**EL AUTOR**

(Firma).....

Nombre: Byron Paul Bolaños Champutíz



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Byron Paul Bolaños Champutz, con cédula de identidad No. 040188800-3, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagraos en la ley de propiedad intelectual del Ecuador, articulo 4,5 y 6 en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **“DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE YURACRUCITO”**. Que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes mencionada, aclarando que el trabajo aquí descrito es de mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Dr. Gerardo Colaguazco  
DIRECTOR DE TESIS

Firma

Nombre: Byron Paul Bolaños Champutz

C.I. 040188800-3

Ibarra, 12 de diciembre del 2019



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**



**ACEPTACIÓN**

PhD. Gerardo Collaguazo

**CERTIFICA**

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Byron Paul Bolaños Champutiz certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: "DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA COMUNIDAD DE YURACRUCITO" para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.



.....

PhD. Gerardo Collaguazo  
**DIRECTOR DE TESIS**

## **Dedicatoria**

*Este trabajo se lo dedico con mucho amor a mis padres Sr. Arturo Bolaños y Sra. María Eugénia Champutíz quienes con amor, entrega y sacrificio me han permitido llegar a alcanzar una meta más en mi vida, gracias por estar siempre para mí y enseñarme a ser un hombre de bien.*

*A la memoria de mi abuelo Rodrigo Bolaños, quien con cariño me brindó su apoyo y consejos en momentos difíciles. Que su fuerza y voluntad me acompañen el resto de mi vida.*

*A una persona muy especial en mi vida Cinthia, quien con su amor y compañía me ha enseñado a vivir la vida y superarme cada día por ser mejor.*

*A mis familiares y amigos quienes me han acompañado a lo largo de este trayecto brindándome sus palabras de aliento y motivándome a seguir adelante con mis sueños, los llevo siempre en mi corazón y en mi mente.*

*Byron Bolaños*

## **Agradecimientos**

*En primer lugar, quiero agradecer a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino, por darme vida y salud para cumplir mis metas y anhelos.*

*A la gloriosa “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE” por permitirme formar profesionalmente y porque me enseñó el camino hacia la superación, con docentes capaces e impulsores, gracias a ellos por su tiempo y dedicación.*

*A todas las autoridades y docentes que conforman la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, como también la Carrera de Ingeniería en Electricidad, gracias por compartir sus conocimientos y consejos, por enseñarnos a ser primero buenas personas y luego excelentes profesionales.*

*De manera especial a mis maestros PhD. Gerardo Collaguazo, MSc. Eliana Ormeño y MSc. Jhonny Barzola, por guiarme y asesorarme en la realización de este trabajo de grado, gracias por su paciencia y responsabilidad dedicada en todo momento.*

*A los habitantes de la comunidad de Yuracucito quienes facilitaron la toma de datos y recolección de información crucial para el desarrollo de este proyecto, gracias por su hospitalidad y su tiempo.*

*Byron Bolaños*

## Tabla de Contenido

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA</b> .....	<b>II</b>
<b>CONSTANCIA</b> .....	<b>III</b>
<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>IV</b>
<b>ACEPTACIÓN</b> .....	<b>V</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>VI</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>VII</b>
<b>Tabla de Contenido</b> .....	<b>VIII</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>XII</b>
<b>Índice de cuadros</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>XV</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
A1. Contextualización.....	1
A2. Planteamiento del problema.....	2
A3. Formulación del Problema.....	2
A4. Justificación del trabajo.....	3
A5. Alcance del trabajo.....	4
A6. Viabilidad del trabajo.....	4
A7. Objetivo General.....	5
A8. Objetivos específicos.....	5
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>6</b>
Conversión de la biomasa a energía.....	6
1.1 Energías renovables. Biomasa.....	6
1.1.1 Biomasa.....	6
1.1.2 Tipos de biomasa según su fuente de origen.....	7
1.2 Procesos de conversión de la biomasa.....	7
1.2.1 Procesos de conversión termoquímicos.....	8



1.2.2	Procesos de conversión bioquímicos .....	9
1.2.3	Caracterización de la biomasa .....	10
1.3	Digestión anaeróbica (D.A) .....	10
1.3.1	Etapa hidrolítica (Hidrólisis).....	12
1.3.2	Etapa acidogénica (Acidogénesis) .....	12
1.3.3	Etapa acetogénica (Acetogénesis).....	12
1.3.4	Etapa metanogénica (Metanogénesis) .....	12
1.3.5	Factores determinantes en el proceso de la D.A .....	12
1.4	Biogás.....	14
1.4.1	Composición del biogás .....	14
1.4.2	Beneficios y usos del biogás .....	15
1.5	Tecnologías de conversión del biogás en energía eléctrica .....	16
1.5.1	Motor de combustión interna .....	17
1.5.2	Turbinas de gas .....	18
1.5.3	Microturbinas.....	19
1.6	Planta de conversión biomasa – biogás – energía .....	20
1.6.1	Biodigestor .....	21
1.6.2	Purificación del biogás .....	24
1.6.3	Almacenamiento del biogás .....	26
1.6.4	Plantas de generación de energía a partir de biogás.....	27
1.7	Técnicas para el análisis financiero de un proyecto .....	28
1.7.1	Valor Actual Neto (VAN).....	28
1.7.2	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	28
1.7.3	Relación Beneficio/Costo (B/C) .....	28
<b>Capítulo 2</b>	.....	<b>29</b>
	Central de producción de energía a partir de biogás .....	29
2.1	Descripción del lugar de estudio .....	30
2.2	Adquisición de información de los recursos biomásicos disponibles .....	30
2.2.1	Cuantificación de la materia prima .....	32

2.2.2 Caracterización de la materia prima .....	34
2.3 Determinación del potencial y composición de biogás .....	36
2.4 Aspectos vinculados a la producción de biogás .....	40
2.4.1 Cantidad de agua necesaria para el proceso de D.A.....	40
2.4.2 Determinación del volumen del biodigestor .....	41
2.4.3 Dimensionamiento de la zanja .....	43
2.4.4 Selección de materiales .....	45
2.5 Aspectos vinculados a la generación de energía eléctrica .....	50
2.5.1 Potencial energético del biogás.....	50
2.5.2 Potencia eléctrica neta .....	50
2.5.3 Potencia instalada.....	51
2.5.4 Producción energética media anual .....	52
2.5.5 Ubicación de la central y distribución de energía eléctrica.....	54
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>58</b>
Análisis de costos y beneficios del proyecto .....	58
3.1 Flujo de caja.....	58
3.1.1 Evaluación de costos del proyecto .....	58
3.1.2 Evaluación de Ingresos .....	62
3.2 Rentabilidad Económica .....	66
3.2.1 Indicador VAN.....	66
3.2.2 Indicador TIR.....	67
3.2.3 Relación beneficio costo (B/C) .....	69
3.4 Beneficios sociales, ambientales y tecnológicos .....	70
3.4.1 Beneficios sociales.....	70
3.4.2 Beneficios Tecnológicos y Ambientales.....	71

<b>Conclusiones .....</b>	<b>72</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>73</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>74</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>79</b>
ANEXO A: Modelo de encuesta efectuada en Yuracucito .....	79
ANEXO B: Tabulación de resultados .....	81
ANEXO C: Resultado de ensayos proximal y elemental .....	88
ANEXO D: Desarrollo matemático en MatLab.....	89
ANEXO E: Diagrama caudal – presión.....	91
ANEXO F: Vistas del biodigestor y generador a biogás .....	92
ANEXO G: Hoja de características del generador.....	93
ANEXO H: Características del conductor y cotización.....	95
ANEXO I: Fotografías .....	98

## Índice de Figuras

Figura. 1 Clasificación de la biomasa según su fuente de origen.....	7
Figura. 2 Secuencia metabólica y grupos microbianos que intervienen en la digestión anaeróbica.....	11
Figura. 3 Usos del biogás .....	15
Figura. 4 Diferentes usos del biogás.....	16
Figura. 5 Uso del biogás para la generación de energía eléctrica a escala mundial. ....	17
Figura. 6 Modelo de motor de combustión interna GE Jenbacher Type 2 Gas Engine ..	18
Figura. 7 Modelo de turbina para generación de energía eléctrica.....	18
Figura. 8 Modelo de microturbina para generación de energía eléctrica .....	19
Figura. 9 Esquema de una planta de biogás.....	21
Figura. 10 Modelo de biodigestor tipo hindú .....	22
Figura. 11 Modelo de biodigestor tipo chino .....	22
Figura. 12 Modelo de biodigestor tipo chino .....	23
Figura. 13 Secuencia de adaptación del biogás.....	25
Figura. 14 Modelo de tanque de almacenamiento de membrana plástica.....	27
Figura. 15 Modelo de planta de generación a partir de biogás.....	28
Figura. 16 Diagrama de flujo de la metodología empleada .....	29
Figura. 18 Ejecución de encuesta.....	31
Figura. 19 Recolección de muestras.....	31
Figura. 20 Pesaje de materia prima disponible .....	32
Figura. 21 Modelo biodigestor tubular.....	41
Figura. 22 Medidas de la zanja.....	43
Figura. 23 Vista isométrica superior de la zanja.....	44
Figura. 24 Vista isométrica de la zanja .....	45
Figura. 26 Diagrama de caudal - presión .....	46
Figura. 27 Pasamuros .....	46
Figura. 28 Tubería de PVC de 4".....	47
Figura. 29 Tubería PVC de ½ " .....	47
Figura. 30 Válvula de seguridad .....	48
Figura. 31 Válvula esférica de paso.....	48
Figura. 32 Filtro de sulfuro de Hidrogeno.....	49
Figura. 33 Disposición de la planta .....	49

Figura. 34 Ubicación de la central de biogás .....54

Figura. 35 Red de distribución a baja tensión .....55

Figura. 36 Funcionamiento de un proyecto de Bonos de Carbono.....65

Figura. 37 Periodo de recuperación de la inversión .....70

## Índice de cuadros

TABLA 1.1 Tecnologías para la conversión y aprovechamiento de la biomasa .....	8
TABLA 1.2 Factores que influyen en la producción de biogás .....	13
TABLA 1.3 Composición del biogás.....	14
TABLA 1.4 Tecnologías para la conversión y aprovechamiento de la biomasa .....	20
TABLA 1.5 Comparación de costos de los diferentes tipos de biodigestores .....	24
TABLA 1.6 Comparación de los métodos de remoción de H <sub>2</sub> S .....	26
TABLA 2.1 Cantidad y tamaño de animales en la comunidad.....	32
TABLA 2.2 Cantidad de estiércol producido por animal de acuerdo al tamaño .....	33
TABLA 2.3 Estimación total de estiércol generado por tipo de ganado .....	33
TABLA 2.4 Resultado de análisis elemental de estiércol bovino.....	34
TABLA 2.5 Resultado de análisis elemental de estiércol porcino.....	35
TABLA 2.6 Resultado de análisis proximal de estiércol bovino.....	35
TABLA 2.7 Resultado de análisis proximal de estiércol porcino.....	36
TABLA 2.8 Composición teórica del biogás .....	37
TABLA 2.9 Producción de biogás por sustrato.....	39
TABLA 2.10 Producción total de biogás.....	39
TABLA 2.11 Ensayos para el diseño del biodigestor.....	43
TABLA 2.12 Características del generador.....	52
TABLA 2.13 Disponibilidad anual de energía.....	53
TABLA 2.14 Energía requerida para agua caliente y calefacción.....	53
TABLA 2.15 Sección de conductores .....	56
TABLA 3.1 Costos de materiales para la producción de biogás.....	59
TABLA 3.2 Materiales sin costo fijo .....	60
TABLA 3.3 Costos de materiales para la producción de energía .....	61
TABLA 3.4 Costos por operación y mantenimiento.....	62
TABLA 3.5 Ingreso por ahorro de energía eléctrica .....	63
TABLA 3.6 Ingreso por ahorro en fertilizante .....	63
TABLA 3.7 Histórico de precios de CERs .....	65
TABLA 3.8 Ingreso por venta de CERs.....	66
TABLA 3.9 Flujos de caja, VAN y TIR.....	68
TABLA 3.10 Resultados B/C.....	69

## Resumen

La comunidad de Yuracucito es una comunidad rural de la provincia de Imbabura, donde los habitantes se dedican principalmente a actividades relacionadas con la agropecuaria. Producto de estas actividades se obtienen desechos orgánicos tales y como son los estiércoles de ganado bovino y porcino, desechos que pueden ser aprovechados para obtener biogás y biofertilizante. El biogás es un gas combustible formado principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), este se obtiene mediante la descomposición anaeróbica (sin presencia de oxígeno) de los residuos orgánicos. El metano es el principal vector energético de este gas y por ende el aprovechamiento que se pueda obtener del mismo será en función del porcentaje de  $\text{CH}_4$  que lo conforme.

Se efectuó una encuesta en la comunidad de Yuracucito con el propósito de conocer la cantidad de recursos biomásicos disponible en la zona, se conoció que el principal recurso era el estiércol de ganado bovino y porcino (en menor cantidad), se recolectó muestras de estos recursos y fueron enviadas al Instituto de Investigación Geofísico y Energético para realizar el análisis físico químico de las mismas. En base a los resultados obtenidos y utilizando modelos matemáticos fue posible estimar la cantidad y composición del biogás, donde se conoció que es posible obtener  $110.4 \text{ m}^3$  de biogás al día, con un porcentaje de metano del 55.4% lo cual equivale a un poder calorífico de  $5.23 \text{ kWh/m}^3$ . Biogás que se puede emplear para la producción de energía eléctrica en un generador de 25 kW (a gas natural), produciendo un estimado de energía eléctrica anual de 23734 kWh, energía que puede ser aprovechada por la comunidad. A la vez, se realizó el análisis económico que conllevaría la implementación de la central de generación de energía a partir de biogás, donde se conoció mediante indicadores de rentabilidad económica como son el VAN, TIR Y B/C que la inversión es rentable y genera múltiples beneficios que ayudarían a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

Palabras clave: biogás, anaeróbica, energía, metano, residuos, estiércol.

## Abstract

Yuracucito is a rural community from Imbabura province, where the inhabitants are mainly engaged in activities related to agriculture. As a consequence of these activities it's produced organic waste like beef manure and pig manure, which can be used to obtain biogas and biofertilizer. Biogas is a combustible gas formed mainly by methane ( $\text{CH}_4$ ) and carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), this is obtained through the anaerobic decomposition (without the presence of oxygen) of organic waste. Methane is the main energy vector of this gas and therefore the use that can be obtained from it will be a function of the percentage of methane that conforms it.

A survey was conducted in the community of Yuracucito in order to know the amount of biomass resources available in the area, it was known that the main resource was manure from cattle and pigs (in lesser quantity), samples of these resources were collected and were sent to the Institute of Geophysical and Energy Research to perform chemical physical analysis of them. Based on the results obtained and using mathematical models it was possible to estimate the quantity and composition of the biogas, where it was known that it is possible to obtain  $110.4 \text{ m}^3$  of biogas per day, with a methane percentage of 55.4% which is equivalent to a calorific value of  $5.23 \text{ kWh/m}^3$ . Biogas that can be used to produce electrical energy in a 25 kW generator (natural gas), producing an estimated annual electrical energy of 23734 kWh, energy that can be used by the community. At the same time, an economic analysis was carried out that would lead to the implementation of the biogas power plant, where it was known through economic profitability indicators such as VAN, TIR and B/C that the investment is profitable and generates multiple benefits that would help improve the quality of life of the inhabitants of the community.

KeyWords: biogas, anaerobic, energy, methane, waste, manure.



# Introducción

## A1. Contextualización

La energía eléctrica es vital para el desarrollo social y económico de un país. (Rentería, Toledo, Bravo, & Ochoa, 2016). A nivel mundial la principal fuente de generación de energía son los combustibles fósiles alrededor del 80% (Banco Mundial, 2019) (Venegas, García, Fernández, Suárez, & Castro, 2017), lo cual es alarmante puesto que según Romero, Martínez, Estrada, & Ortíz (2014) dichos combustibles son los principales contribuyentes al deterioro ambiental debido a la gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que emiten a la atmósfera. La presente situación ha despertado el interés mundial por la búsqueda de fuentes de energía alternativa que permitan el aprovechamiento de los recursos naturales renovables. (Chorkulak, 2016).

Las energías renovables son fuente de energía limpia, son inagotables ya sea debido a la inmensa cantidad de energía que contienen o por su capacidad de regenerarse naturalmente. (Badii, Guillen, & Abreu, 2016). Dentro de este grupo de energías encontramos a la biomasa, entendiéndose por biomasa a cualquier tipo de materia orgánica de origen biológico. (Chorkulak, 2016). La biomasa se considera una de las fuentes de energía más confiables puesto que es constante y se puede almacenar, lo cual facilita la generación de energía térmica y eléctrica. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

En la actualidad la inadecuada gestión de los desechos orgánicos y estiércoles en zonas agrícolas y pecuarias del Ecuador (generalmente rurales) es un tema preocupante. (Godoy, Silva, & Palacios, 2018). Entre los impactos ambientales que genera el proceso antes referido se tiene: la contaminación de fuentes hídricas, generación de gases, malos olores y una incorrecta relación tierra/estiércol. (Cano et al., 2016).

Una alternativa biotecnológica para obtener un aprovechamiento energético y económico a este tipo de desechos es la obtención de biogás (mezcla de gases, constituido principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )) como resultado de la descomposición de la materia por medio de la digestión anaeróbica. (Romero et al., 2014). Un subproducto de este proceso son los bioles, mismos que pueden ser utilizados como biofertilizantes para diversos cultivos debido a sus ricas propiedades nutrientes. (Aguero, Terry, Carreño, & Cabrera, 2014).

La digestión anaeróbica es el proceso mediante el cual se obtiene biogás gracias a microorganismos (bacterias metanógenas) que digestan los desechos, este proceso sucede en la ausencia de oxígeno. (Zheng, Zhao, Xu, & Li, 2014).

En el Ecuador la potencia nominal de generación de energía eléctrica por biomasa es apenas del 1.66% (Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, 2019), lo cuál es un claro indicador de que no se esta aprovechando de la mejor manera la energía contenida en los recursos biomasicos que se generán en el país. (Godoy et al., 2018). Rentería et al. (2016) afirma que es de vital importancia que el Ecuador busque mecanismos que contribuyan a su desarrollo social y económico sin comprometer el medio ambiente.

## **A2. Planteamiento del problema**

La comunidad de Yuracucito se encuentra ubicada en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, a una altitud 2720 msnm, alcanza una temperatura anual de 16.5°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) y en las noches se ha reportado casos que incluso puede llegar a los 3 °C. (GAD Provincial de Imbabura, 2015). Dicha comunidad consta de alrededor de 20 viviendas y cuenta con aproximadamente 100 habitantes los cuáles en su mayoría se dedican a actividades agropecuarias en la zona. Producto excedente de dichas actividades se generan desechos orgánicos como son los estiércoles provenientes del ganado bovino y porcino existente en la zona.

Al presente, la gestión que se le brinda a estos desechos es inapropiada, en vista que no se brinda un tratamiento previo adecuado para su disposición final y son depositados de manera directa sobre los terrenos lo que genera un impacto ambiental en la zona debido a la generación de gases que potencializan el efecto invernadero, mal olor, una relación incorrecta tierra/estiércol, y una posible fuente de infecciones debido a la presencia de microorganismos patógenos. Según (Romero et al., 2014), una cabeza de ganado porcino adulto es capaz de producir 2 kg de excretas por día y una de ganado bovino 15 kg por día (estas relaciones son tomadas para un tiempo de estación en el corral de 12 horas).

La energía presente en los mencionados desechos esta siendo desaprovecha, misma que con el tratamiento adecuado (anaeróbico) podría servir para la obtención de biogás que alimente una central de generacion eléctrica la cual cubra de manera parcial o total la demanda energética de la zona (iluminación, cocción de alimentos por medio de cocinas de inducción, calefacción, agua caliente.) mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

## **A3. Formulación del Problema**

¿Es viable la implementación de una central de generación eléctrica a partir de biogás en Yuracucito - Ibarra?

#### **A4. Justificación del trabajo**

En la Constitución del Ecuador Art.413 (2008) se establece que el Estado promoverá el desarrollo y uso de energías renovables y limpias que no comprometan la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

En la Constitución del Ecuador Art.414 (2008) indica que el Estado adoptará medidas para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, deforestación y contaminación.

Con la ejecución del presente proyecto se pretende plantear una alternativa sustentable para la gestión de los desechos orgánicos en las zonas rurales que se dedican a actividades agrícolas y pecuarias como lo es Yuracucito, mediante el uso de biotecnologías que contribuyan a la mitigación del cambio climático y la recuperación de la energía propia de este tipo de desechos. Como un valor agregado se tiene la producción de bioles que quedan como subproducto del proceso de la digestión anaeróbica, mismos que pueden ser utilizados como biofertilizantes los cuales al emplearse generan una apropiada relación tierra/estiércol.

Este análisis permitirá conocer la viabilidad de implementar una central de generación a partir de biogás que contribuya a la diversificación de la matriz energética en el sector de Yuracucito y contribuir a alcanzar uno de los propósitos establecidos por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (2019) el cual es lograr el 93% de generación de energía limpia y renovable.

Los beneficiarios directos del desarrollo de este proyecto son los más de 100 habitantes de la comuna de Yuracucito, permitiéndoles dar una disposición final adecuada a los desechos producto de sus actividades laborales (agropecuaria), mejorando su calidad de vida, equilibrio y estética de su entorno. Como beneficiarios indirectos se tiene a los cientos de turistas nacionales e internacionales que disfrutan de deportes de aventura como el parapentismo, ciclismo de montaña, caminatas, etc. Actividades que se llevan a cabo en los alrededores de la comuna.

## **A5. Alcance del trabajo**

El estudio se lo llevará a cabo en la comunidad de Yuracucito en la ciudad de Ibarra provincia de Imbabura, donde se realizará la estimación de la cantidad y caracterización de la biomasa (estiércol bovino y porcino) producida como resultado de las actividades agropecuarias de la comuna, también se llevará a cabo la estimación del potencial de biogás de mencionados desechos.

En base a los resultados obtenidos se llevará a cabo el diseño de la central de generación eléctrica a partir de biogás para lo cual se deberá evaluar la capacidad de producción de energía eléctrica de dicha central y la demanda de energía que tiene la comuna de Yuracucito (iluminación, calefacción, cocción de alimentos por medio de cocinas de inducción, agua caliente, etc.)

Se estudiará la viabilidad económica para la implementación de la planta de generación eléctrica a partir de biogás en la comunidad de Yuracucito.

## **A6. Viabilidad del trabajo**

El proyecto a desarrollarse es de gran interés nacional y mundial, la comunidad de Yuracucito no es indiferente al tópico tratado puesto que es un proyecto que los beneficia de manera directa se han comprometido a colaborar brindando información y muestras que el investigador considere relevantes.

Al tratarse de un tema que contribuye al desarrollo sustentable y gestión apropiada de los desechos orgánicos existe una inmensa cantidad de información científica que aporta a la elaboración del análisis del estado del arte del proyecto.

La tecnología a emplearse cuenta con características y condiciones técnicas que aportarán al cumplimiento de los objetivos del proyecto. Se puede establecer que el estudio de viabilidad para la implementación de una central de generación a partir de biogás es técnicamente viable, por la asequibilidad a los instrumentos de medición.

Desde el punto de vista económico el proyecto es viable puesto que se realizará las pruebas de caracterización de la biomasa en los laboratorios del Instituto de Investigación Geológico y Energético dichos ensayos no tienen costo puesto que se trabaja por cooperación investigativa los demás gastos serán cubiertos por cuenta propia.

### **A7. Objetivo General**

Determinar el potencial de producción de biogás para generación de energía eléctrica efectuando un análisis técnico – económico de la implementación de una planta de generación eléctrica a partir de biogás en la comunidad de Yuracucito para el mejoramiento de las condiciones de vida de sus habitantes.

### **A8. Objetivos específicos**

1. Analizar el estado del arte respecto a tecnologías para la conversión de biomasa a energía y diseño de centrales de generación eléctrica por biogás.
2. Diseñar la central de producción de biogás y generación eléctrica.
3. Realizar el análisis económico para la implementación de la planta de generación eléctrica a partir de biogás.

# Capítulo 1

## Conversión de la biomasa a energía

### 1.1 Energías renovables. Biomasa

Las energías renovables o también conocidas como energías alternativas son aquellas fuentes de energía que se generan de forma natural en el entorno y son prácticamente inagotables en el tiempo (a escala humana). Este tipo de fuentes de energías se caracterizan por ser no contaminantes es decir que su utilización no contribuye de manera significativa al deterioro del medio ambiente. (Solé, 2014).

En la actualidad el uso de las energías renovables ha tenido un incremento dramático enfocado principalmente en mitigar el impacto ambiental que el uso de las fuentes convencionales de energía (petróleo, carbón, gas natural) han producido al medio ambiente. (Mao, Feng, Wang, & Ren, 2015). La aceleración del cambio climático es uno de los consecuentes del impacto ambiental que generan los gases de efecto invernadero (GEI), se manifiesta con prolongadas precipitaciones, aumento de la temperatura, largas sequías, deshielo de los polos, cambio de dirección de los vientos, etc. (Venegas, et al., 2017).

#### 1.1.1 Biomasa

El termino biomasa tiene dos aceptaciones en el ámbito de las energías renovables, uno hace alusión al recurso (materia prima) y otro a la energía que se obtiene con su utilización. Con referencia al recurso el concepto es muy amplio debido a que abarca todo tipo de materia orgánica de origen biológico reciente, tales como desechos agrícolas, forestales, animales y residuos sólidos urbanos. (Fernández, et al., 2015).

En relación a la energía obtenida, se entiende por biomasa a una fuente de energía renovable que se basa en el aprovechamiento energético de los biocombustibles obtenidos a partir de materias primas biomásicas. (Zhang, Su, Baeyens, & Tan, 2014). La biomasa al igual que la mayoría de las energías renovables (a excepción de la geotérmica y mareomotriz ) obtiene su energía del sol, a través de la fotosíntesis de los vegetales.

Se estima que la biomasa está destinada a convertirse en el cuarto recurso más grande de energía en el mundo, logrando incluso desplazar a los combustibles fósiles, esto gracias a sus variadas características de aplicación y su abundancia renovable. (Mao, et al., 2015).

### 1.1.2 Tipos de biomasa según su fuente de origen

Según Arrieta (2016), La fuente de origen de donde proviene la materia prima que será utilizada para la obtención de biocombustibles se clasifica en:

- a) Primaria: se produce de manera natural en el entorno, formada por especies vegetales que son sembradas para exclusivamente ser utilizadas como recurso energético.
- b) Residual o secundaria: los residuos orgánicos de un proceso de cualquier tipo, industrial, agrícola, pecuario, etc.

Los estiércoles de animales forman parte de la materia prima residual (véase Fig. 1), en ocasiones están constituidos por más de un desecho orgánico, por ejemplo, excremento animal, restos de camas (pajas). El uso de este tipo de residuos como fuente de obtención de biocombustible (biogás) se lleva a cabo con un doble propósito, el aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante subproducto del proceso. (Gutiérrez, Bustillos, & Hernani, 2018).

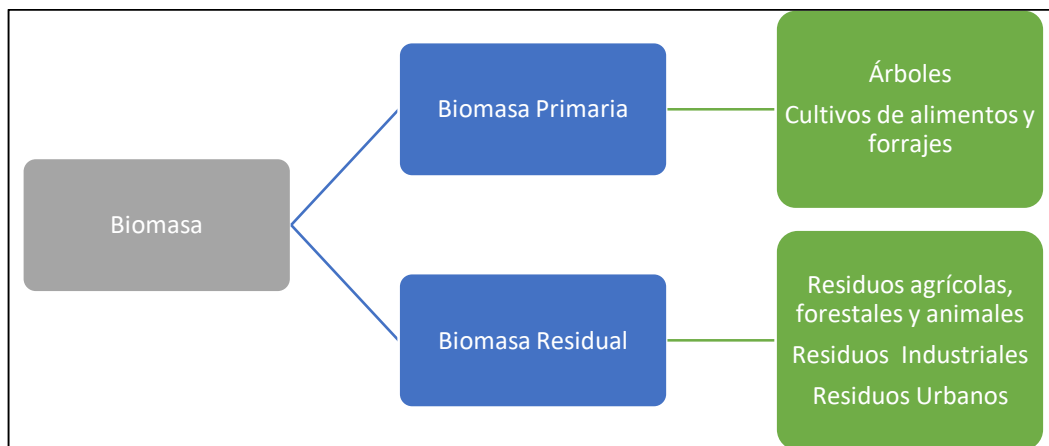


Figura. 1 Clasificación de la biomasa según su fuente de origen  
Fuente: Recuperado de (Arrieta, 2016)

Cuando se hace referencia a los recursos biomásicos como fuente de energía renovable hay que discernir entre materia prima y combustibles, por ejemplo, los excrementos de ganado son la materia prima de la cual se obtiene el biocombustible o biogás (Arrieta, 2016).

### 1.2 Procesos de conversión de la biomasa

Los recursos biomásicos indiferentemente de su fuente de generación (primaria o residual) cuentan con características específicas las cuales sirven como indicador del aprovechamiento que se puede obtener del recurso (Stronguiló & Chacón, 2015). En función de las características propias de cada materia prima se selecciona un proceso para su

transformación, es preciso diferenciar entre los procesos termoquímicos y procesos bioquímicos. (Armas, 2017). En la Tabla 1.1 se presenta la forma en que se clasifican los procesos de conversión de la biomasa en energía.

TABLA 1.1  
Tecnologías para la conversión y aprovechamiento de la biomasa

Termoquímica y bioquímica de los procesos de clasificación		
Proceso de conversión	Soluciones Tecnológicas	Producto final
Termoquímicos	Combustión	Vapor
		Procesos de calor
		Energía eléctrica
	Gasificación	Vapor
		Procesos de calor
		Energía eléctrica
Bioquímicos	Pirólisis	Gas combustible
		Carbón
		Bio-carbón
	Compostaje	Gas combustible
		Etanol
		Agua para riego
Digestión anaeróbica	Compost	
	Biogás	

Fuente: Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants. (Caputo, et al., 2005).

A continuación, se realiza la descripción de cada uno de los procesos de conversión de la biomasa (termoquímicos y bioquímicos), así como también de las soluciones tecnológicas empleadas.

### 1.2.1 Procesos de conversión termoquímicos

Dentro de las tecnologías para la conversión de la biomasa en energía se encuentran los procesos termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), los cuales se caracterizan por que en su proceso se encuentran implicadas reacciones químicas irreversibles, las cuales se llevan a cabo a altas temperaturas y en condiciones de oxidación variable. (González, et al., 2015).

- a) Combustión: en el proceso de combustión de la biomasa intervienen el carbono y el hidrógeno presentes en el combustible, estos reaccionan al exceso de oxígeno dando como resultado la liberación de CO<sub>2</sub>, agua y una gran cantidad de energía en forma de calor (reacción exotérmica). (Peña, Paula Martínez, Chirivi, & Mendoza, 2017).



- b) Pirólisis: es un proceso que está enfocado principalmente en la obtención de biocombustibles con un valor energético mayor que el de la materia prima que se utiliza, este proceso consiste básicamente en la descomposición térmica de la biomasa en la ausencia de oxígeno generalmente a temperaturas entre los 500 y 700 °C. En función de la velocidad de calentamiento y del tiempo de residencia se puede subdividir en dos tipos, así: pirólisis lenta la cual sirve para obtener biocombustibles sólidos como el carbón vegetal y pirolisis rápida para la obtención de biocombustibles líquidos como el aceite de pirolisis. (Peña, et al., 2017).
  
- c) Gasificación: es el proceso mediante el cual se transforma un material sólido (carbonoso generalmente) en un combustible en fase gas el cual puede utilizarse para procesos que la biomasa en su forma sólida no puede, este proceso consiste en la descomposición a través de calor de la biomasa produciéndose una oxidación parcial sin llegar a la combustión, este proceso se logra mediante el uso de un agente gasificante que generalmente es aire. No se debe confundir el biogás que es principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con el gas de síntesis del proceso de gasificación el cual está constituido principalmente de monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e hidrogeno ( $\text{H}$ ). (Peña, et al., 2017).

### **1.2.2 Procesos de conversión bioquímicos**

El aprovechamiento de los procesos bioquímicos para la obtención de energía es una tecnología relativamente nueva, dichos procesos se llevan a cabo mediante el empleo de enzimas y microorganismos los cuales actúan como biocatalizadores para la producción de biocombustibles. En este tipo de procesos se distinguen la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) y el compostaje. (Stronguilo & Chacón, 2015).

- a) Compostaje: es el proceso de la descomposición biológica de la materia orgánica en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno), este proceso se da en condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación. (Aristizábal, Vanegas, Mariscal, & Camargo, 2015).
  
- b) Digestión anaerobia (D.A): es el proceso mediante el cual la materia orgánica es descompuesta por un consorcio de microorganismos de manera sistemática, este

proceso se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas (libre de oxígeno). (Aristizábal, et al., 2015).

### **1.2.3 Caracterización de la biomasa**

Según Armas (2017), Para procesos bioquímicos en los cuales se vaya a hacer uso de la digestión anaerobia los ensayos más significativos de caracterización de la biomasa son:

- a) Análisis elemental: este tipo de ensayo permite determinar la cantidad (en porcentajes) de macro elementos y micro elementos presentes en la materia, tales como: carbono (C), hidrogeno (H), nitrógeno (N) siendo estos los más representativos y micro elementos (menos del 3%) como el azufre (A). (Armas, 2017).
- b) Análisis proximal: este ensayo consiste en determinar la cantidad (en porcentaje) de humedad, cenizas, perfil de ácidos grasos y solidos volátiles orgánicos presentes en la materia. (Stronguiló & Chacón, 2015).

Uno de los datos que se busca conseguir al realizar el análisis elemental de una muestra es determinar el índice de la relación carbono – nitrógeno (C/N), este valor representa la digestibilidad de la materia. Esto se debe a que el carbono es una de las fuentes más importantes de donde los microorganismos obtienen su energía y el nitrógeno es crucial para la síntesis proteica. (Stronguiló & Chacón, 2015). A su vez, el contenido de los sólidos volátiles en la metería orgánica como las grasas, carbohidratos y proteínas representan la disponibilidad que tienen las bacterias anaeróbicas para desarrollarse y reproducirse. (Cano, et al., 2016).

### **1.3 Digestión anaeróbica (D.A)**

La digestión anaeróbica es el resultado de un proceso microbiológico de la degradación de grandes cadenas de carbono hasta llegar a formas más elementales como son el dióxido de carbono y el metano. (González, et al., 2015). Generalmente en este proceso intervienen cinco tipos de bacterias las cuales se coordinan en cuatro etapas: la hidrolítica, la acidogénica, la acetogénica y la metanogénica (Figura 2). (Grande, 2016).

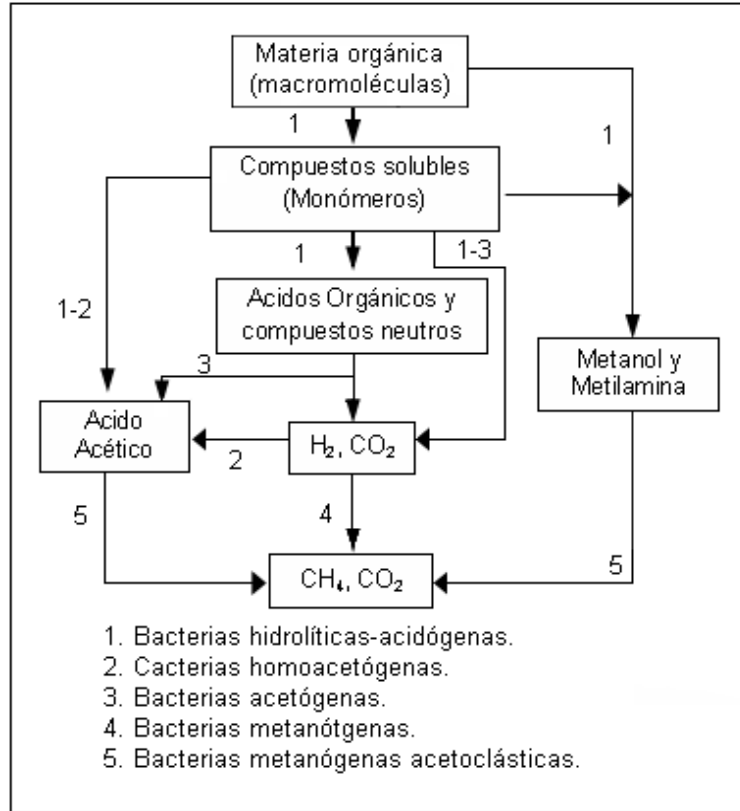


Figura. 2 Secuencia metabólica y grupos microbianos que intervienen en la digestión anaeróbica  
 Fuente: Adaptada de (Cárdenaz L. M., Parra, Lozada, & Vásquez, 2016).

La digestión anaeróbica se produce gracias a microorganismos (bacterias) los cuales actúan como catalizadores que degradan la materia orgánica, este proceso se da en condiciones anaerobias que significa libre de la presencia de oxígeno. (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018). La digestión anaeróbica se presenta de manera sinérgica hasta convertir los compuestos orgánicos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  principalmente. (Grande, 2016).

Según Gutiérrez, et al. (2018), Los países desarrollados y en vías de desarrollo tienen una perspectiva consolidada sobre la biotecnología anaeróbica, consideran que contribuye a alcanzar tres necesidades básicas:

- Contribuye a mejorar las condiciones sanitarias puesto que permite realizar un control a la contaminación.
- Favorece la generación y desarrollo de las energías renovables especialmente para actividades domésticas.
- En el proceso se producen materiales estabilizados como son los biofertilizantes.

### **1.3.1 Etapa hidrolítica (Hidrólisis)**

En la etapa hidrolítica se degradan moléculas como lípidos, proteínas y carbohidratos mediante un proceso enzimático extracelular y son convertidos en moléculas fácilmente degradables tales como ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos, alcoholes, azúcares, etc. (Gutiérrez, Bustillos, & Hernani, 2018).

### **1.3.2 Etapa acidogénica (Acidogénesis)**

En esta etapa se obtienen los ácidos de cadena corta, tales como ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido valérico mediante la transformación de los aminoácidos, alcoholes, azúcares y ácidos grasos de cadena corta. (Grande, 2016).

### **1.3.3 Etapa acetogénica (Acetogénesis)**

En esta etapa de la digestión anaeróbica las bacterias acetogénicas transforman las moléculas intermediarias obtenidas de procesos anteriores en ácido acético, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. (Morales, Rivadeneira, & García, 2018).

### **1.3.4 Etapa metanogénica (Metanogénesis)**

Esta es la etapa final del proceso donde el ácido acético y el hidrógeno son transformados en metano y dióxido de carbono. En esta etapa intervienen dos tipos de bacterias: las bacterias metanogénicas acetoclásicas y las bacterias metanogénicas hidrogenófilas. (Morales, et al., 2018). En la Figura 2 se observa la secuencia metabólica y grupos microbianos que intervienen en la D.A.

### **1.3.5 Factores determinantes en el proceso de la D.A**

La producción de biogás mediante el proceso de D.A se ve afectado por diversos parámetros. Cuantificar el impacto que tienen cada uno de ellos en el proceso de la obtención de biogás resulta una tarea compleja debido a la gran cantidad de variables microbiológicas y ambientales que intervienen en el proceso. (Morales, Rivadeneira, & García, 2018). En la Tabla 1.2 se presenta los factores más relevantes que afectan a la cantidad y calidad de producción de biogás.

TABLA 1.1  
Factores que influyen en la producción de biogás

Sustrato	Proceso	Digestor
Tipo de sustrato	Temperatura del proceso	Condiciones anaeróbicas
Relación C/N	Velocidad de carga volumétrica	Dimensionamiento y diseño
Presecia de inhibidores	Valor de acidez (pH)	
	Contenido de sólidos	
	Agitación - Mezclado	

Fuente: Adaptada de (Chorkulak, 2016).

Tipo de sustrato: Existen diferentes materias primas que se pueden emplear para la producción de biogás entre las principales están: estiércoles animales, excrementos humanos, aguas residuales orgánicas, rastrojos de las cosechas y diferentes tipos de residuos agrícolas. Cada materia prima cuenta con propiedades diferentes y por ende la producción de biogás será diferente, los estiércoles se consideran idóneos para la producción de biogás debido a que cuentan con la presencia de bacterias metanogénicas propias de los tractos digestivos del ganado. (Chorkulak, 2016).

Relación C/N: La relación entre el carbono (C) y el nitrógeno (N) es un indicador el cual representa la disponibilidad de desarrollarse que tendrán las bacterias metanogénicas, puesto que estos elementos son indispensables para su formación y crecimiento. (Zhang, Su, Baeyens, & Tan, 2014).

Inhibidores: La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes pueden inhibir el proceso de fermentación anaeróbica. (Chorkulak, 2016).

Temperatura: La temperatura mínima requerida es de 4°C a 5°C y no se debe pasar los 70°C como máximo. En base al tipo de bacteria que predomine se hace una diferenciación entre tres grados de temperatura:

- a) Psicrófilas: Menos de 20°C
- b) Mesófilas: Entre 20°C y 40°C
- c) Termófilas: Más de 40°C

Velocidad de carga volumétrica: Corresponde al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al biodigestor.

## 1.4 Biogás

El biogás, o también conocido como “el gas de los pantanos” es un gas combustible que se puede generar de manera natural en lugares como los vertederos o pantanos, a este proceso se le conoce como desgasificación, o también se puede obtener por la metanización voluntaria de la materia orgánica en biodigestores anaerobios. (Ortíz, 2017).

### 1.4.1 Composición del biogás

El biogás es una mezcla de gases formada principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ , en un 50% - 75%), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , entre 25% - 50%) y otros gases menos del 1%. Se obtiene mediante una serie de reacciones bioquímicas que se presentan en la digestión anaeróbica (ausencia de oxígeno) de la biomasa. (Zheng, et al., 2014). En la Tabla 1.3 se muestra la composición teórica del biogás en porcentaje.

TABLA 1.2  
Composición de biogás

Gas	Total (%)
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 - 70
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 - 45
Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )	
Nitrogeno ( $\text{N}_2$ ), Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), Óxidos nítricos ( $\text{NO}_x$ )	≤5
Sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), otros	≤5

Fuente: Adaptada de (Villanueva, Nájera, Gómez, Hernández, & Velasco, 2011)

Una ventaja prominente del uso del biogás es la reducción de las emisiones naturales de metano, provenientes de vertederos u otros entornos abiertos debido a que se estima que el potencial de calentamiento global del metano es 21 veces más alto que el del dióxido de carbono. A través de los sistemas de digestión anaeróbica se captura y utiliza el metano para la producción de energía. (Zheng, et al., 2014).

La cantidad de metano que contiene el biogás depende primordialmente de la materia prima empleada y de las condiciones de degradación. Las instalaciones que se usan para la producción de biogás se conocen como “plantas de biogás” o “reactores anaerobios”, los cuales al adaptarse debidamente a turbinas u otros generadores se emplean para la generación de energía a través de plantas eléctricas. (Grande, 2016).

### 1.4.2 Beneficios y usos del biogás

La producción de biogás a partir de residuos agropecuarios es una alternativa biotecnológica para contribuir a la reducción del impacto ambiental que generan este tipo de desechos. De esta manera la contaminación por desechos agrícolas y pecuarios se convierte en una oportunidad para la generación de energía renovable (biomasa). (Cano, et al., 2016).

Entre los principales beneficios del uso de biogás se encuentra: la generación de energía (electricidad, calor, luz), obtención de biofertilizantes de alta calidad, transformación de residuos orgánicos, reducción de agentes patógenos, beneficios económicos al aumentar el rendimiento de las actividades de agricultura y ganadería, entre otros. En la Figura 3 se presenta los principales usos del biogás.

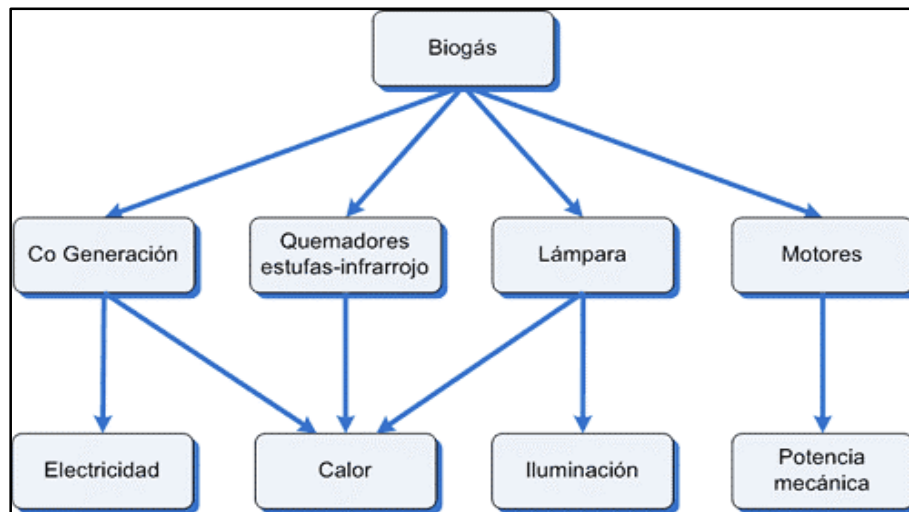


Figura. 3 Usos del biogás  
Fuente: Adaptado de (Arrieta, 2016)

Un subproducto del proceso de producción de biogás son los bioles (fertilizantes) los cuales en la actualidad están valorados con igual o mayor importancia que el biogás, debido a que estos fertilizantes mejoran mucho el rendimiento de las cosechas, el olor se reduce de un 90% a 95% que si se aplicase el estiércol de manera directa sobre los terrenos, este biofertilizante es prácticamente libre de microorganismos patógenos, las plantas asimilan fácilmente sus nutrientes lo cual se traduce en beneficios económicos para los agricultores. (Ortíz, 2017).

El biogás es un combustible que puede ser utilizado en diversos procesos, tales como, la generación de calor, la generación de electricidad, la cogeneración (generación de electricidad y calor), llegando incluso a ser utilizado como combustible de vehículos. (Scarlat, Dallemand, & Fahl, 2018). En la Figura 4 se observa ciertos usos que se le puede dar al biogás.

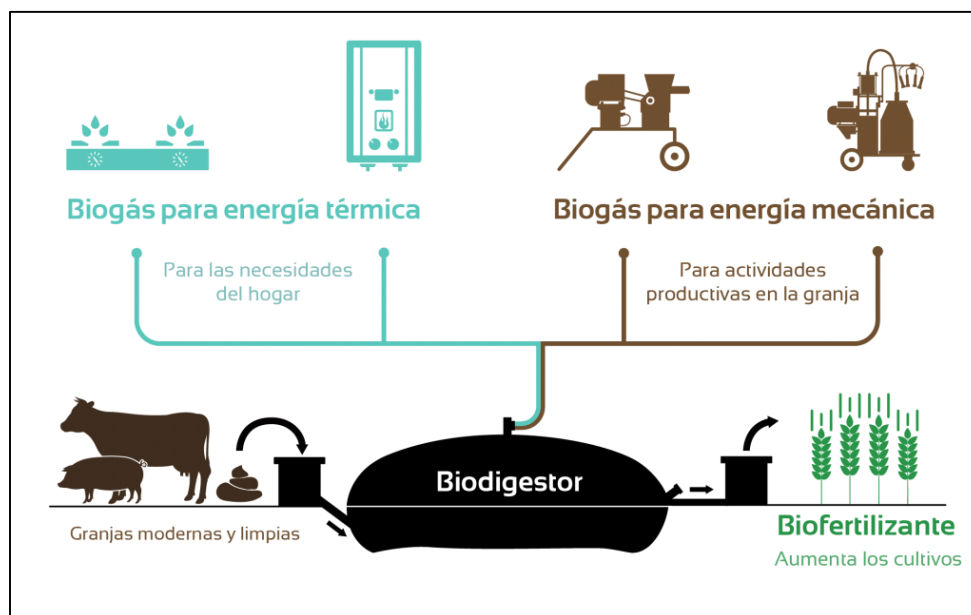


Figura. 4 Diferentes usos del biogás  
Fuente: Recuperado de (Ecobiogás SL, 2019)

En la actualidad el biogás tiene su principal aplicación por medio de la combustión directa para generar calor y para la generación de energía eléctrica mediante el uso de motores de combustión interna, la producción de biogás no solo permite la generación de energía a partir de fuentes alternativas sino que también permite reciclar un desperdicio. (Venegas, García, Fernández, Suárez, & Castro, 2017).

A nivel mundial las aplicaciones en cogeneración han ido aumentando en vista que se realiza un mejor aprovechamiento energético y proveen una mayor eficiencia energética que si se utilizara el biogás para la generación de electricidad o calor únicamente, para el uso de esta tecnología se emplea generalmente motores de combustión interna. (Blanco, Santalla, Córdova, & Levy, 2017).

Para la utilización del biogás como fuente combustible se debe remover el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ) debido a que este gas puede causar daños en la maquinaria empleada para producir energía, son tóxicos y emanan malos olores. Un metodo para la remoción del  $H_2S$  es la utilización de un filtro de limaduras de hierro con partículas menores a 1cm. (Grande, 2016).

### 1.5 Tecnologías de conversión del biogás en energía eléctrica

El uso del biogás para la generación de energía eléctrica ha presentado un constante crecimiento en el tiempo, cada día son más los países que se suman a la creación de plantas de producción de biogás debido a los beneficios que su implementación representa. (IRENA, 2016).



A escala mundial existe una capacidad instalada de 100,879 MW (Megawatts) para la producción de energía eléctrica mediante el uso de biomasa. En la Figura 5 se presenta un gráfico comparativo de la producción de energía eléctrica a partir de biogás, biomasa sólida y biocombustibles líquidos en el mundo desde el año 2010 hasta el año 2016.

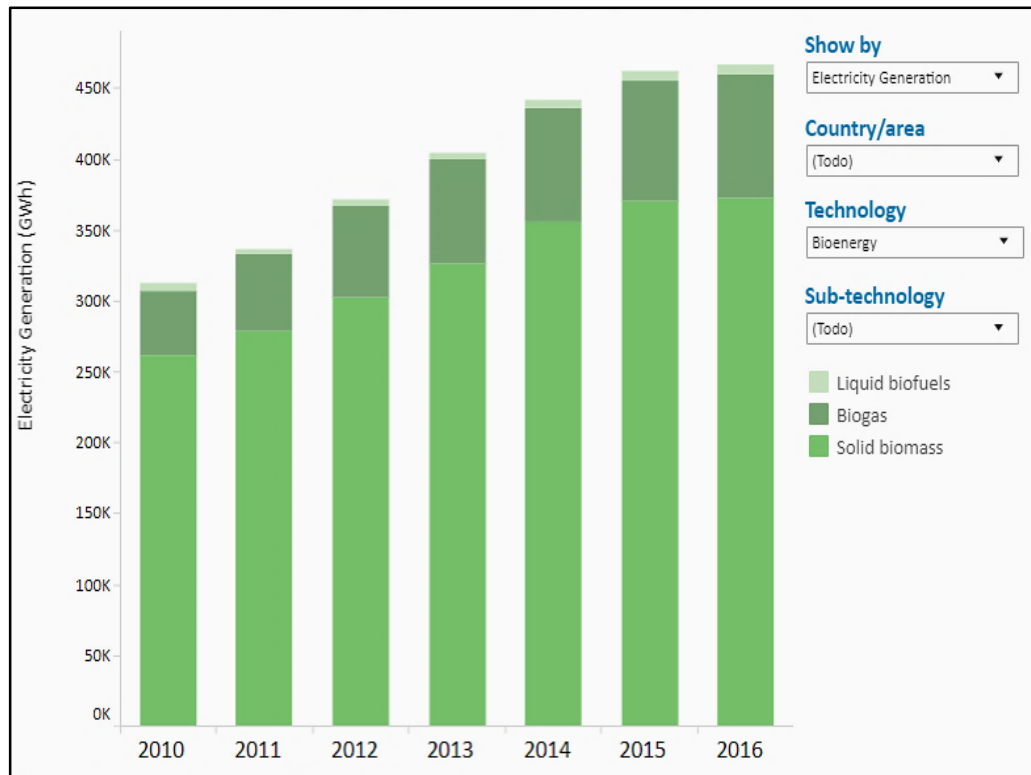


Figura. 5 Uso del biogás para la generación de energía eléctrica a escala mundial.  
Fuente: Recuperado de (IRENA, 2016)

En la actualidad la mayoría de proyectos en operación para la transformación de biogás en energía eléctrica se basan en la utilización de motores de combustión interna, turbinas y microturbinas, mientras que tecnologías como los motores stirling, motores de ciclo orgánico Rankie y celdas combustibles aún se encuentran en fase de desarrollo. (Godoy, Silva, & Palacios, 2018).

### 1.5.1 Motor de combustión interna

Los motores de combustión interna (Figura 6) son la tecnología para la conversión de biogás en energía eléctrica más empleada a nivel mundial puesto que presentan una eficiencia alta en comparación con las turbinas de gas y microturbinas entre 25 y 35% aunque en aplicaciones de cogeneración pueden alcanzar mayores rendimientos. (Blanco, et al., 2017).



Figura. 6 Modelo de motor de combustión interna GE Jenbacher Type 2 Gas Engine  
Fuente: Recuperado de (General Electric, 2019).

Este tipo de tecnología presenta la ventaja que permite implementar y quitar motores en función de la tendencia de regeneración del gas. Los motores de combustión interna de cuatro tiempos (ciclo Otto) diseñados para trabajar con gas natural o gas líquido de petróleo (GLP) trabajan también con biogás. (Fernández, et al., 2015).

### 1.5.2 Turbinas de gas

Las turbinas de gas (Figura 7) tienen su principal aplicación en proyectos a gran escala donde se tiene una capacidad de regeneración del gas suficiente como para generar como mínimo 3 MW, las turbinas de gas tienen una eficiencia que ronda entre el 20 y 28% pudiendo llegar al 40% si se usa cogeneración. (Blanco, et al., 2017).



Figura. 7 Modelo de turbina para generación de energía eléctrica  
Fuente: (Mitsubishi, 2019)

Las turbinas de gas tienen un menor coste de operación y mantenimiento que los motores de combustión interna, pero representan una mayor inversión inicial.

### 1.5.3 Microturbinas

Estas tecnologías se usan para plantas de generación donde se tiene una recuperación de gas menor a  $8 \text{ m}^3/\text{min}$  donde el contenido de metano en el biogás es relativamente bajo hasta un 35%, las microturbinas (Figura 8) resultan más costosas por kW generado pero al igual que los motores de combustión interna se puede añadir o quitar en función de la recuperación del flujo de gas. (Blanco, et al., 2017).



Figura. 8 Modelo de microturbina para generación de energía eléctrica  
Fuente: Recuperado de (Blanco, et al., 2017)

A continuación en la Tabla 1.4 se presenta un cuadro comparativo con las principales ventajas y desventajas del uso de los motores de combustión interna, turbinas de generación a partir de biogás y microturbinas de generación a partir de biogás.

TABLA 1.3  
Tecnologías para la transformación de biogás en energía eléctrica

Tecnología	Eficiencia	Capacidad	Ventajas	Desventajas
Motores de combustión interna	25 – 35% (llegando a ser mayor en cogeneración)	8 kW a 3 MW	Bajo costo por kW producido en comparación con turbinas y microturbinas  Varios tamaños y puede adecuarse al flujo de gas	Altos costos de mantenimiento y operación.  Requieren la impurezas que pueda traer el gas.
Turbinas de generación eléctrica a partir de biogás	20 – 28% (llegando a ser mayor en cogeneración)	≥ 5MW	Mayor resistencia a la corrosión  Menor nivel de emisiones de óxido de nitrógeno	Alto costo de implementación.  Requieren la impurezas que pueda traer el gas.
Microturbinas de generación eléctrica a partir de biogás	25 – 35 %  Actualmente se están desarrollando técnicas para llevar la eficiencia hasta el 40%	30, 70 y 250 kW	Menor nivel de emisiones de óxido de nitrógeno  Varios tamaños y puede adecuarse al flujo de gas  Compactas y menos costo de mantenimiento y operación	Alto costo de implementación.  Requieren la impurezas que pueda traer el gas.

Fuente: Adaptado de (Blanco, Santalla, Córdova, & Levy, 2017)

Como lo indica la Tabla 1.4 los motores de combustión interna pueden ser utilizados en aplicaciones de prácticamente cualquier potencia, estos equipos resultan ser la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico en aplicaciones donde la recuperación de biogás es baja. Los motores de combustión interna de cuatro tiempos (ciclo Otto) diseñados para trabajar originalmente con gas natural se adaptan al trabajo con biogás aunque con una menor eficiencia.

### 1.6 Planta de conversión biomasa – biogás – energía

Una característica propia de las plantas de conversión de biomasa a biogás y consecuentemente a energía (Figura 9) es que pueden ser dimensionadas de prácticamente todo

tamaño, pudiendo ser desde pequeñas plantas de generación en granjas y viviendas (kW) a grandes plantas de generación de energía que abastezcan a toda una ciudad (MW). Esto en función de las características y cantidad de biomasa disponible para el proceso. (Venegas, Aryal, & Ruíz, Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas, 2019).

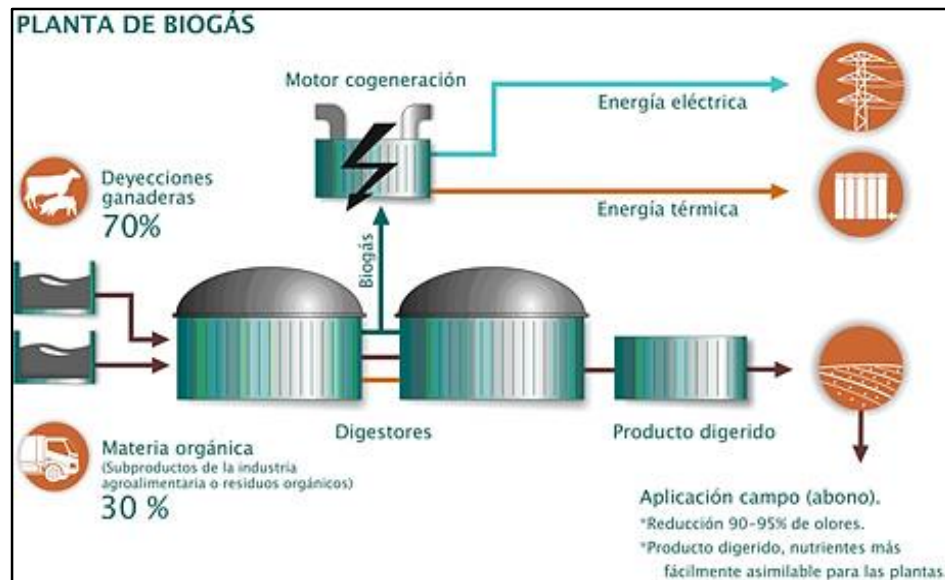


Figura. 9 Esquema de una planta de biogás.  
Fuente: Recuperado de (Ecobiogás SL, 2019)

En función del modelo de la planta de biogás estas constan de diferentes partes, pero todas ellas tienen ciertos elementos en común, elementos como: el reactor o biodigestor, filtros de remoción o purificación, reservorio y el equipo de generación.

### 1.6.1 Biodigestor

Es un tanque cerrado herméticamente en cuyo interior se producen los medios y las condiciones óptimas para que se lleve a cabo el proceso de degradación anaeróbica (ausencia de oxígeno) de la materia orgánica dispuesta, al biodigestor también se lo conoce con el nombre de "reactor" pudiendo ser estos de diferentes tamaños y de diferente material de construcción como: ladrillo, cemento o plástico. (Mago, Sosa, Flores, & Tovar, 2014). Actualmente existe una gran variedad de biodigestores, a nivel de pequeña escala los biodigestores más comunes son: el tipo hindú, el tipo chino y de polietileno tipo salchicha. (Venegas, et al., 2019).

#### 1.6.1.1 Biodigestor tipo hindú

Este tipo de biodigestor fue aplicado por primera vez en la India de ahí el origen de su nombre, el modelo de este biodigestor cuenta con una cámara de digestión de forma cilíndrica sobre la cual flota la campana gasométrica, inicialmente estaba elaborado en hierro, pero por problemas

de corrosión actualmente se ha remplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico. En la Figura 10 se observa el modelo típico de un digester tipo hindú.

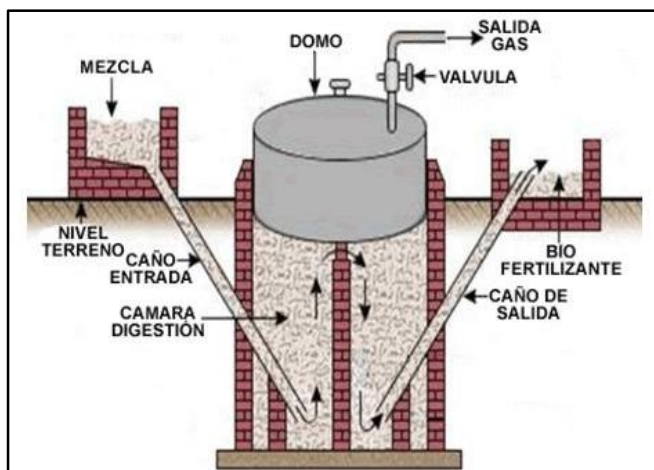


Figura. 10 Modelo de biodigestor tipo hindú  
Fuente: Recuperado de (Calderón, 2015)

Este modelo funciona de manera continua o semi-continua, es decir se debe realizar una carga diaria o cada dos días, el efluente es desplazado por rebalse. Este biodigestor tiene un costo de implementación relativamente alto, siendo generalmente lo más costoso la campana gasométrica. (Arias, 2019).

### 1.6.1.2 Biodigestor tipo chino

Como su nombre lo indica el biodigestor tipo chino tiene su origen en china, este se caracteriza principalmente porque su apariencia se asemeja a una esfera y porque el gas que se genera en su interior se almacena en una campana fija a presión variable, la cual está en función del biogás producido en el interior. (Calderón, 2015). En la Figura 11 se muestra el modelo típico de un biodigestor tipo chino.

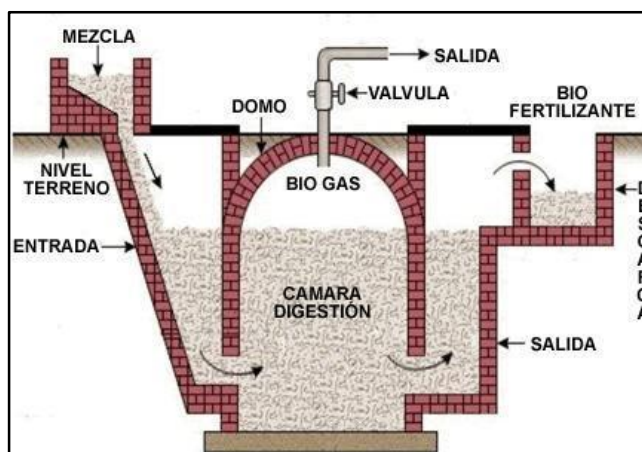


Figura. 11 Modelo de biodigestor tipo chino  
Fuente: Recuperado de (Calderón, 2015)

Este modelo de biodigestor debe ser implementado por personal capacitado, con este modelo de biodigestor se busca principalmente la obtención de biofertilizante y el biogás es un recurso secundario.

### 1.6.1.3 Biodigestor tubular o tipo salchicha

El biodigestor tubular o tipo salchicha tiene sus orígenes en Taiwán, este se caracteriza por la simplicidad de su diseño (alargado y tubular), ser flexible y móvil están hechos de membranas plásticas por lo que resultan más económicos que los biodigestores fijos. (Calderón, 2015). En la Figura 12 se muestra el modelo típico de un biodigestor tipo salchicha o tubular.



Figura. 12 Modelo de biodigestor tipo chino  
Fuente: Recuperado de (Calderón, 2015)

Una ventaja adicional de este tipo de biodigestores es que para su instalación no se necesita de grande maquinaria o conocimientos específicos de construcción, estos biodigestores son muy comunes en zonas rurales o de difícil acceso. (Arias, 2019).

A continuación, en la Tabla 1.5 se detalla los principales materiales de construcción según el tipo de biodigestor. Se hace comparación entre los costos de construcción, operación y mantenimiento.

TABLA 1.5  
Comparación de costos de los diferentes tipos de biodigestores

Tipo de biodigestor	Material de construcción	Costos		
		Construcción	Operación	Mantenimiento
Tipo chino	Principalmente ladrillo, piedra y concreto.	Alto, su construcción debe ser llevada a cabo por personal capacitado en la rama.	Alto, la presión es variable por lo que generalmente se necesita utilizar maquinaria adicional.	Bajo, al no poseer partes móviles su mantenimiento es reducido.
Tipo indú	Principalmente ladrillo, concreto y fibra de vidrio reforzada con plástico para la campana gasométrica.	Alto, elevados costos de construcción especialmente la campana gasométrica.	Bajo, la cantidad de gas se puede conocer por el nivel de la campana gasométrica, mantiene una presión constante.	Alto, al poseer partes móviles se hace necesario un mantenimiento periódico.
Tipo tubular o salchicha	Generalmente membranas plásticas, el biodigestor sirve de gasometro.	Bajo, no requiere de conocimiento en la rama de la construcción, materiales de implementación económicos y fáciles de transportar.	Bajo, por la simplicidad de su diseño su operación puede ser ejecutada por personas sin conocimiento técnico.	Bajo, su mantenimiento principal consiste en cubrir posibles fugas de gas. No requiere sistema de mezcla o calentamiento.

Fuente: Adaptado de (Chorkulak, 2016).

Como señala la Tabla 1.5 el biodigestor tipo tubular o salchicha es el que resulta económicamente más atractivo de implementar, debido a que este tipo de biodigestor representa un menor costo de inversión en aspectos como: la instalación, operación y mantenimiento. Según Ortíz (2017), en zonas rurales los biodigestores comúnmente más usados son los tipos salchicha debido a la simplicidad de su diseño, por sus bajos costos y facilidad de transporte, para la instalación, operación y mantenimiento de este tipo de biodigestores no es relevante la instrucción académica del personal.

### 1.6.2 Purificación del biogás

Para realizar un correcto aprovechamiento del biogás es necesario realizar un proceso de purificación o filtración (Figura 13), como se mencionó anteriormente el biogás además del metano presenta la presencia de otros gases como: sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), dióxido de



carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de agua. La razón principal de la eliminación de este tipo de gases obedece a las necesidades técnicas de las tecnologías a utilizarse para el aprovechamiento del mismo. (Grande, 2016).

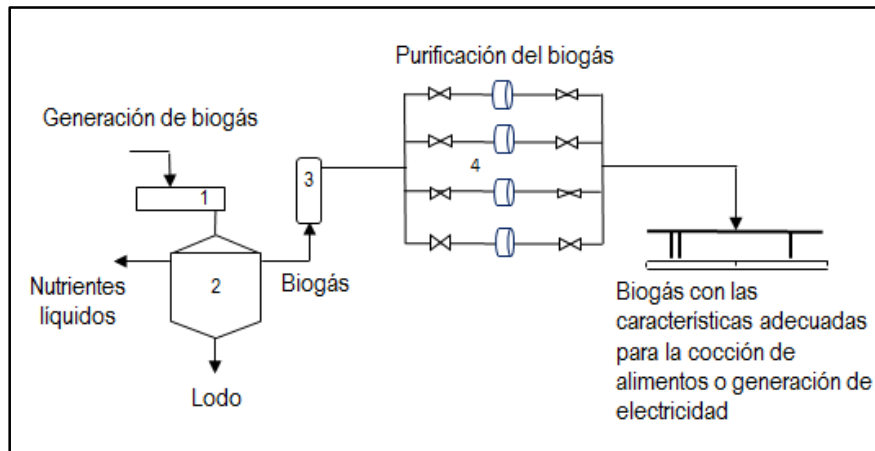


Figura. 13 Secuencia de adaptación del biogás  
Fuente: Recuperado de (Calderón, 2015)

El H<sub>2</sub>S es el elemento más perjudicial que se debe eliminar del biogás debido a que es un gas tóxico y altamente corrosivo, mismo que puede causar severos daños a la maquinaria empleada para la conversión de biogás a energía. La quema del biogás sin la remoción del H<sub>2</sub>S puede causar severos daños al medio ambiente, debido a que en este proceso se produce dióxido de azufre SO<sub>2</sub> un gas asociado con la lluvia ácida. La eliminación del CO<sub>2</sub> y otros gases trazas es necesaria para la conversión del biogás en biometano un gas con mayor concentración de metano 95%, mayor poder calorífico, inodoro (sin un olor característico) y no agresivo a las partes metálicas de motores y turbinas. (Souza & Schaeffer, 2013).

Para la remoción del H<sub>2</sub>S existen diferentes métodos basados en técnicas físico-químicas las cuales se basan en mecanismos de adsorción, absorción, membrana y métodos biológicos. Estos últimos han sido probados a escala de laboratorio y piloto, resultando altamente prometedores. (Varnero, Carú, Galleguillos, & Achondo, 2012). En la Tabla 1.6 se presenta una comparación entre los métodos y técnicas de remoción del H<sub>2</sub>S.

TABLA 1.6  
Comparación entre métodos de remoción de H<sub>2</sub>S

Método	Características	Elementos utilizados	Ventajas	Desventajas
Adherencia	El SO <sub>2</sub> es adsorbido por adherencia a un material sólido fijo.	Carbón activado, sílicagel y tamices moleculares	Relativamente económico También permite la eliminación del anhídrido carbónico	La reacción puede verse afectada por la humedad, temperatura y presión.
Absorción	Alta eficiencia debido a la reactividad del SO <sub>2</sub> con los metales.	Generalmente se utilizan limallas de hierro colocadas en columnas de purificación.	Económicos y altamente eficientes.	Necesitan ser removidos periódicamente Generan contaminantes secundarios
Membrana	El biogás se desplaza a través de una membrana selectiva	Los materiales de las membranas son formulados especialmente para separar determinados gases (SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> )	Alta resistencia mecánica a la presión Posee mejores presentaciones y durabilidad	Estos sistemas son costosos y generalmente se consideran no adecuados en aplicaciones a pequeña escala
Biológicos	Utilizan la capacidad metabólica de microorganismos que degradan sustancias contaminantes	Se emplea biorreactores o biofiltros, en estos se ubican los cultivos puros o mixtos de microorganismos.	Las principales ventajas radican en la carencia de contaminantes secundarios, menor costo de inversión y eficiencia de degradación.	Aún se encuentran en fase de desarrollo.

Fuente: Adaptado de (Varnero, et al., 2012)

El método de remoción del H<sub>2</sub>S que en la actualidad es el más empleado para aplicaciones de generación de energía en baja potencia es el método por absorción. Este método ofrece resultados altamente eficientes a bajos costos, comúnmente se utiliza uno varios filtros de virutas de hierro o estropajo de hierro el cual al oxidarse debe ser cambiado por uno nuevo. (Souza & Schaeffer, 2013).

### 1.6.3 Almacenamiento del biogás

Los biodigestores producen gas producto de la digestión anaerobia de la materia prima utilizada las 24 horas del día, pero no ocurre lo mismo con el consumo de energía el cual

generalmente se concentra en una fracción del día. Por lo cual es necesario almacenar el biogás producido para su posterior utilización, este puede ser almacenado a baja, media o alta presión. (Chorkulak, 2016).

La forma más común de almacenar el biogás es tal cual como se obtiene, es decir a baja presión y para este propósito se usa las mismas cámaras de digestión o gasómetros, globos de vinilo, polietileno de alta densidad, etc. En la Figura 14 se presenta el modelo de un tanque de almacenamiento de biogás de membrana plástica.



Figura. 14 Modelo de tanque de almacenamiento de membrana plástica  
Fuente: Recuperado de (Alibaba, 2019)

El almacenamiento del biogás en esta forma está limitado a ser utilizado de manera local, dificultando su traslado, para poder transportar el biogás a otras partes la forma más recomendada es en cilindros o tubos de acero inoxidable a mediana o alta presión, este proceso implica elevados costos y generalmente se lo realiza cuando se desea utilizar el biogás como combustible de vehículos. (Souza & Schaeffer, 2013).

#### **1.6.4 Plantas de generación de energía a partir de biogás**

En la actualidad existe una gran variedad de plantas de generación de energía a partir de biogás, partiendo desde modelos simples y económicos a modelos más sofisticados y costos, todo en función de la necesidad del consumidor. (Ortíz, 2017).

En función de la cantidad de biogás que se obtiene del biodigestor ( $m^3/h$ ) y la potencia demandada se puede escoger una tecnología para el aprovechamiento energético del biogás. En lugares donde la producción de biogás no es alta y la demanda energética es menor a 2 MW generalmente se usa plantas compactas de generación mediante el uso de motores de combustión interna de cuatro tiempos. Los modelos más actuales de estas plantas tienen incorporado sistemas de medición, control, transductores de presión, filtros de  $H_2S$ , etc. Las tensiones de salida generalmente son en baja tensión 240 a 440 VAC y a frecuencia variable 50 – 60 Hz. (Ortíz, 2017). En la Figura 15 se presenta un ejemplo de planta de generación a partir de biogás.



Figura. 15 Modelo de planta de generación a partir de biogás  
Fuente: Recuperado de (Aqualimpia Engineering e.K, 2019)

## **1.7 Técnicas para el análisis financiero de un proyecto**

Según Venegas, et al. (2017), para realizar el análisis financiero de un proyecto se puede utilizar tres técnicas que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo para interpretar si un proyecto es viable económicamente o no.

### **1.7.1 Valor Actual Neto (VAN)**

El VAN es un indicador usado en proyectos de diferente índole, este es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, se puede entender también la comparación de todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos que se tuvo que realizar para obtener dichas ganancias. Para que el proyecto se considere rentable el VAN debe ser positivo. (Baca, 2013).

### **1.7.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno es un indicador financiero que representa la rentabilidad de la inversión de un proyecto, la TIR convierte el valor actual neto en cero. Para que el proyecto se considere rentable la TIR debe ser mayor que cero, está se expresa en porcentaje. (Baca, 2013).

### **1.7.3 Relación Beneficio/Costo (B/C)**

La relación beneficio costo de un proyecto es un indicador que expresa de manera sencilla si la ejecución de un proyecto generara beneficios económicos, el B/C divide los ingresos totales para los egresos totales del proyecto tomando en consideración la tasa de interés. Al contrario del VAN el cual se expresa de manera absoluta, el B/C se expresa de manera relativa. (Baca, 2013).

## Capítulo 2

### Central de producción de energía a partir de biogás

En el presente capítulo se procede a estimar la cantidad y calidad de biogás que es posible obtener en la comunidad de Yuracucito, se dimensiona el reactor para el proceso de D.A de los recursos y se analiza la cantidad de energía eléctrica que es posible obtener. En la Figura 16 se presenta el diagrama de flujo de la metodología empleada.

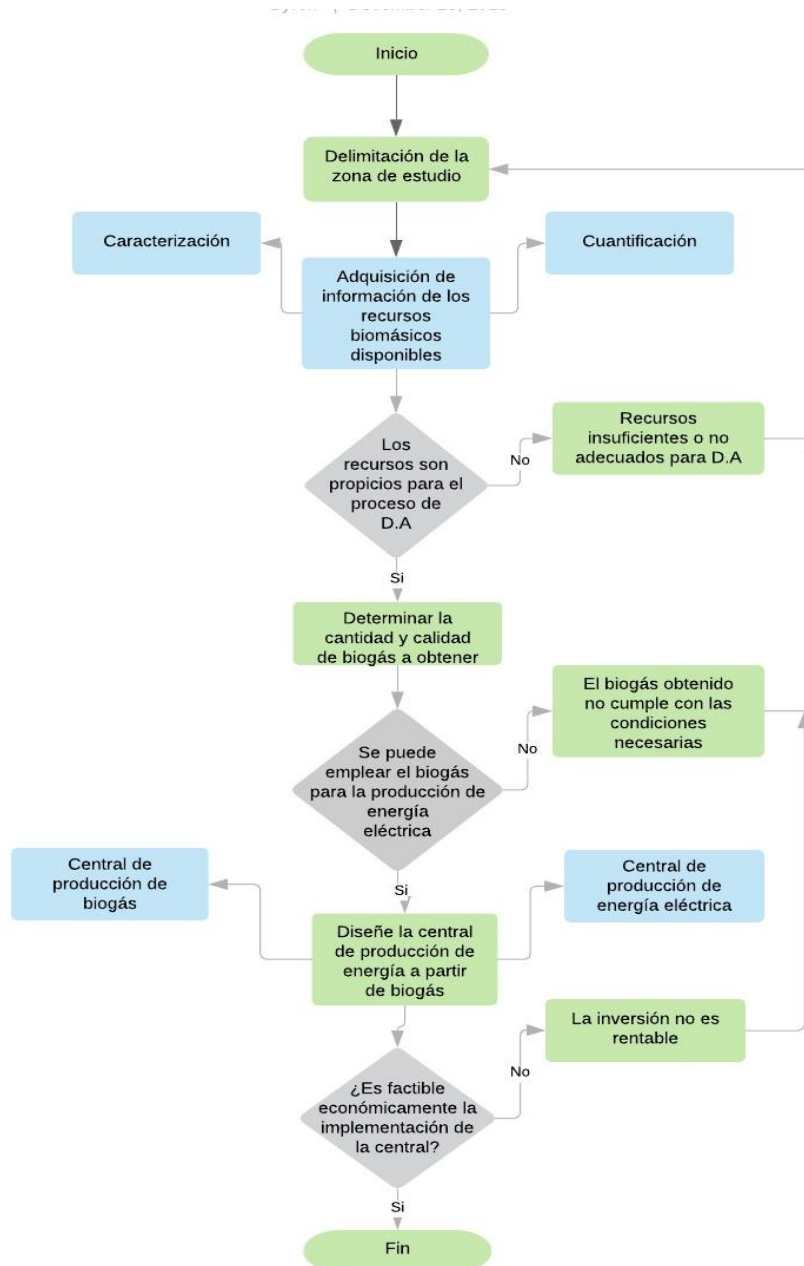


Figura. 16 Diagrama de flujo de la metodología empleada

Fuente: Elaborado por el Autor

## 2.1 Descripción del lugar de estudio

La comunidad de Yuracucito se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura a 20 minutos de la ciudad de Ibarra (Figura 17) a una altitud promedio de 2720 msnm, alcanza una temperatura anual de 16.5°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) y una precipitación media mensual de 710,7 mm (GAD Provincial de Imbabura, 2015). Actualmente la comunidad consta con aproximadamente 20 viviendas y cuenta con alrededor de 80 habitantes.

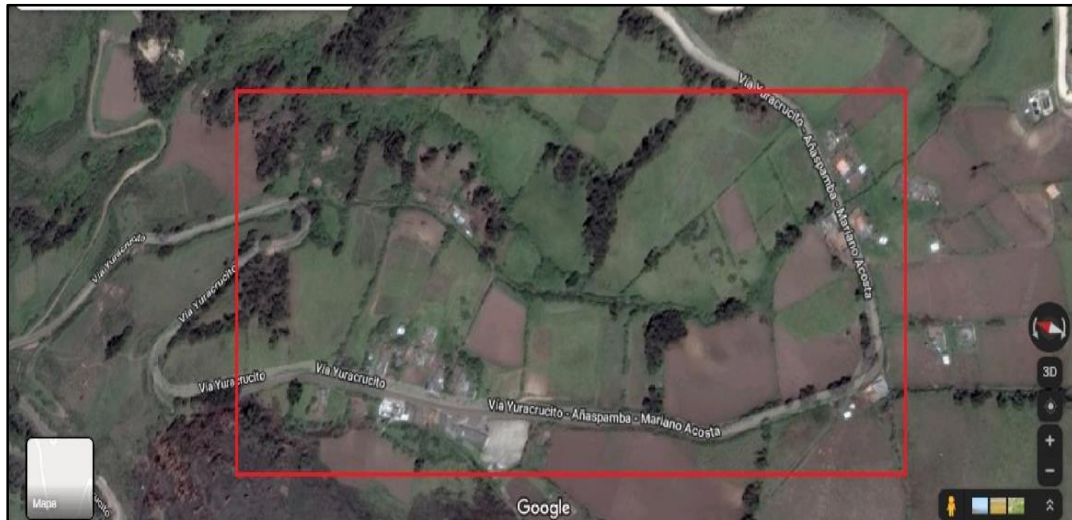


Figura. 17 Ubicación de la comunidad  
Fuente: Google Maps

En su mayoría los habitantes de la comunidad se dedican a actividades relacionadas con la agropecuaria, consecuentemente cuentan con terrenos cultivables en la comuna y con ganado de diferente índole, principalmente existe una gran presencia de ganado vacuno. Actualmente los desechos que se generan por este tipo de ganado son vertidos de manera directa sobre los cultivos a modo de fertilizante, lo cual genera un impacto ambiental negativo sobre los terrenos y representa un vector de infección y malos olores.

## 2.2 Adquisición de información de los recursos biomásicos disponibles

Con el objetivo de recopilar información sobre los recursos biomásicos disponibles en la comunidad y conocer si se está brindando algún aprovechamiento a los mismos se llevó a cabo una encuesta (Figura 18). El modelo de la encuesta aplicada se lo presenta en el Anexo A.



Figura. 17 Ejecución de encuesta  
Fuente: El Autor

Mediante la encuesta realizada se conoció que en la comunidad de Yuracrucito existe aproximadamente 61 vacas y 32 cerdos, estos animales fueron clasificados de acuerdo a su tamaño, mismo que depende directamente de su edad. (Vera, et al., 2014). Consecuentemente el recurso biomásico que se presenta en mayor cantidad es el estiércol vacuno y estiércol porcino, de los cuales se tomo 3 muestras al azar para su caracterización (Figura 19).



Figura. 18 Recolección de muestras  
Fuente: El Autor

En la Tabla 2.1 se presenta la información recopilada a través de la encuesta realizada sobre la cantidad de ganado existente en la zona. Los resultados de la encuesta se presentan con más detalle en el Anexo B.

TABLA 2.1  
Cantidad y tamaño de animales en la comunidad

Vacuno	
Grande	26
Mediano	19
Pequeño	16
Porcino	
Grande	14
Mediano	0
Pequeño	18
Otros	
Pollos	100
Cuyes	89
Ovejas	2

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se aprecia en la Tabla 2.1 el ganado que existe en mayor cantidad en la zona es el ganado vacuno, seguido por el ganado porcino. A su vez, se evidenció la presencia de otros tipos de animales como pollos, cuyes y ovejas pero la materia prima que se puede obtener es poco representativa debido a la cantidad.

### 2.2.1 Cuantificación de la materia prima

Para estimar la producción de recursos biomásicos que pueden ser utilizados como fuente de materia prima para la generación de biogás (estiércoles bovino y porcino) se procedió a pesar con la ayuda de una balanza digital la cantidad de estiércol diario generado en tres viviendas con ganado al azar (Figura 20).



Figura. 19 Pesaje de materia prima disponible  
Fuente: El Autor



Esta actividad se la realizó con el consentimiento y colaboración de los propietarios, de igual manera se estimó la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan por vivienda. En la Tabla 2.2 se presenta la producción promedio de estiércol por cada tipo de animal y por su tamaño.

TABLA 2.2  
Cantidad de estiércol producida por animal de acuerdo al tamaño (Kg/día)

Vacuno	
Vacas Grandes	13.2
Vacas Medianas	8.8
Vacas Pequeñas	7.04
Porcino	
Cerdos Grandes	2.3
Cerdos Medianos	1.8
Cerdos Pequeños	1.07

Fuente: Elaborado por el Autor

Los resultados obtenidos de la cantidad de estiércol que se genera por ganado se aproximan a los especificados por Martínez ( citado por (Vera, et al., 2014), con una diferencia de  $\pm 1.8$  kg y  $\pm 0.5$  kg para ganado vacuno y porcino respectivamente.

Relacionando la Tabla 2.1 y la Tabla 2.2 fue posible calcular la cantidad aproximada de estiércol bovino y porcino que se generará en la comunidad en un día (Tabla 2.3), con base en la encuesta efectuada se conoció el tiempo que pasa en el corral cada tipo de ganado, resultando 24 horas para ganado porcino y 12 horas ganado vacuno.

TABLA 2.3  
Estimación total de estiércol generado por tipo de ganado

Ganado vacuno (Kg/día)		
Vacas grandes	26 × 13.2	343.2
Vacas medianas	19 × 8.8	167.2
Vacas pequeñas	16 × 7.04	112.64
Total (Kg/día)		623.04
Ganado porcino (Kg/día)		
Cerdos grandes	14 × 2.3	32.2
Cerdos pequeños	18 × 1.07	19.26
Total (Kg/día)		51.46

Fuente: Elaborado por el Autor

Como lo denota la Tabla 2.3 la materia prima que se presenta en mayor cantidad es el estiércol de ganado vacuno, siendo este el principal recurso a emplear para la producción de biogás. Entre el estiércol de ganado vacuno y ganado porcino se determinó que al día es posible obtener 674.5 kg de estiércol fresco.

### 2.2.2 Caracterización de la materia prima

Para conocer la cantidad y la calidad del biogás que se puede obtener del proceso de digestión anaerobia es importante conocer las características físico-químicas de los recursos biomásicos a emplear, puesto que de ello dependerá el aprovechamiento energético que se le pueda brindar a la materia prima. Para llevar a cabo esta actividad se solicitó la cooperación investigativa del Instituto de Investigación Geofísico y Energético mismo que cuenta con un laboratorio de biomasa. En el mencionado laboratorio se llevó a cabo los ensayos proximal y elemental de la materia prima a emplear como sustrato, tal y como son los estiércoles de ganado bovino y porcino. Se seleccionó estos tipos de estiércoles porque son los que se presentan en mayor cantidad en el lugar de estudio, para llevar a cabo esta actividad se solicitó a tres viviendas al azar la recolección de muestras del estiércol de ganado porcino y vacuno, dichas muestras se recolectaron en fundas herméticas para evitar su contaminación.

### Resultado de ensayos elemental y proximal

Los resultados obtenidos del ensayo elemental de cada sustrato se presentan en la Tabla 2.4 y 2.5 respectivamente y los resultados obtenidos del ensayo proximal de cada sustrato se muestran en la Tabla 2.6 y 2.7 respectivamente. Los resultados de los ensayos se presentan en el Anexo C.

TABLA 2.4  
Resultado de análisis elemental de estiércol bovino

Estiércol bovino	Resultados de ensayo elemental				
	Elemento				
	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
Muestra 1	38.36	5.85	28.88	2.01	0.25
Muestra 2	37.52	6.05	28.02	2.10	0.29
Muestra 3	31.34	5.36	28.65	2.00	0.93
Promedio	35.74	5.73	28.51	2.03	0.49

Fuente: Elaborado por el Autor

El análisis elemental de las muestras recolectadas de estiércol bovino señala que en promedio se obtuvo un porcentaje total de carbono de 35.74% y un porcentaje de nitrógeno de 2.03%, con lo cual se determina una relación C/N de 18, este valor se encuentra dentro de los rangos favorables para la formación y crecimiento de bacterias metanogénicas (15 - 30).

TABLA 2.5  
Resultado de análisis elemental de estiércol porcino

Resultados de ensayo elemental					
Estiércol porcino	Elemento				
	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
Muestra 1	29.78	5.48	26.04	3.32	0.40
Muestra 2	29.78	7.65	26.82	3.03	0.34
Muestra 3	31.40	6.48	26.77	3.21	0.25
Promedio	30.92	6.53	26.54	3.18	0.33

Fuente: Elaborado por el Autor

El análisis elemental de las muestras recolectadas de estiércol porcino señala que en promedio se obtuvo un porcentaje total de carbono de 35.74% y un porcentaje de nitrógeno de 2.03%, con lo cual se determina una relación C/N de 10, lo cual indica que el estiércol bovino presenta mejores condiciones para la generación de biogás.

TABLA 2.6  
Resultado de análisis proximal de estiércol bovino

Resultados de ensayo proximal				
Estiércol bovino	%Humedad	%ST	%SV	%SF
Muestra 1	5.9	94.1	53.30	40.80
Muestra 2	5.06	94.94	51.26	43.69
Muestra 3	5.35	94.65	52.09	42.56
Promedio	5.43	94.56	52.21	42.35

Fuente: Elaborado por el Autor

El análisis proximal de las muestras recolectadas de estiércol bovino indica que en promedio se obtuvo un porcentaje total de sólidos totales de 94.56% y un porcentaje de sólido volátiles de 52.21%. Los sólidos volátiles representan con cercanía el porcentaje de materia orgánica disponible en la biomasa, solo este contenido es el que produce biogás. (Arrieta, 2016)

TABLA 2.7  
Resultado de análisis proximal de estiércol porcino

Resultados de ensayo proximal				
Estiércol porcino	%Humedad	%ST	%SV	%SF
Muestra 1	7.00	93.00	56.96	36.03
Muestra 2	26.62	73.38	48.28	25.09
Muestra 3	23.64	76.36	57.81	18.55
Promedio	19.08	80.91	54.35	26.55

Fuente: Elaborado por el Autor

El análisis proximal de las muestras recolectadas de estiércol porcino indica que en promedio se obtuvo un porcentaje total de sólidos totales de 80.91% y un porcentaje de sólido volátiles de 54.35%. Los sólidos volátiles representan con cercanía el porcentaje de materia orgánica disponible en la biomasa, solo este contenido es el que produce biogás. (Arrieta, 2016)

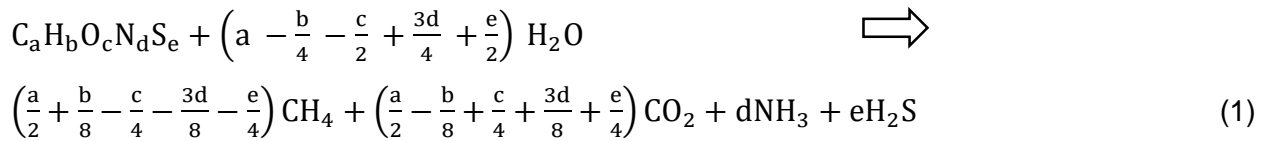
### **2.3 Determinación del potencial y composición de biogás**

Para determinar teóricamente la cantidad de biogás que es posible obtener de una materia prima se puede hacer uso de los modelos teóricos existentes, los cuales se caracterizan por ser rápidos y brindar una idea de la composición del biogás y una estimación teórica del potencial de producción bioquímico de metano. Los modelos teóricos generalmente presentan valores sobrestimados de producción de metano, debido a que estos consideran que toda la materia prima a emplear es biodegradable y que la cantidad de materia que usan los microorganismos como fuente de energía es insignificante. (Cárdenaz M. , Parra, Torres, & Vásquez, 2016)

Un método empleado para determinar la composición del biogás que se obtiene de un proceso es empleando la fórmula estequiométrica desarrollada por Buswell y Hatfield en 1936, misma que en principio solo determinaba la producción de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> pero fue modificada en 1952 por Boyle incluyendo Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y Amoniac (NH<sub>3</sub>). Para emplear este método se debe conocer los valores porcentuales peso a peso (%p/p) que componen la materia prima, dicha información es obtenida a través del ensayo último o elemental de la materia. (Sánchez, Laines, Sosa, & Montero, 2015).

Para determinar la fracción de metano, dióxido de carbono, amoniac y sulfuro de hidrógeno presentes en el biogás obtenido de la descomposición anaeróbica del estiércol vacuno

y porcino se utilizó la Ecuación 1 y para determinar el potencial teórico bioquímico de metano (TBMP) se empleó la Ecuación 2.



$$TBMP \left(\frac{mlCH_4}{gSV}\right) = \frac{22.4 \times 1000 \times \left(\frac{a}{2} - \frac{b}{8} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4}\right)}{12.017a + 1.0079b + 15.999c + 14.0067d + 32.065e} \quad (2)$$

Dónde: a, b, c, d, e → Número de moles del carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, respectivamente.

22.4 → Volumen (L) ocupado por un gas ideal a condiciones estándar de temperatura (273°K) y presión (1atm).

1000 → Factor de conversión del volumen de l a ml

12.017, 1.0079, 15.999, 14.0067, 32.065 → Peso molar del carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, respectivamente.

Los valores obtenidos del porcentaje teórico de producción de metano, dióxido de carbono, amoniaco y sulfuro de hidrógeno presentes en el biogás producto de la descomposición anaeróbica del estiércol bovino y porcino se presentan en la Tabla 2.8. El procedimiento matemático desarrollado en MatLab se presenta en el Anexo D.

TABLA 2.8  
Composición teórica del biogás procedente de estiércol vacuno y porcino

Compuesto	Composición estiércol vacuno	Composición estiércol porcino
%CH <sub>4</sub>	54.06	56.74
%CO <sub>2</sub>	40.82	34.81
%NH <sub>3</sub>	4.62	8.07
%H <sub>2</sub> S	0.48	0.36
Biogás	100	100

Fuente: Elaborado por el Autor

El potencial teórico bioquímico de metano (TBMP) calculado fue de 523.59 y 529.19 mlCH<sub>4</sub>/gSV para estiércol bovino y porcino respectivamente, lo cual corresponde a valores de 0.52 y 0.53 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgSV.

El valor del TBMP es utilizado para calcular el volumen de producción de metano, para determinar dicho valor se emplea la fórmula desarrollada por Chen (1983) Ecuación 3, quien la desarrollo en base al modelo de Contois (1959). (Venegas, Aryal, & Ruíz, Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas, 2019).

$$V_{CH_4} = BO * SVT * \left(1 - \frac{K}{U * (TRH - 1 + K)}\right) \quad (3)$$

Dónde:  $V_{CH_4}$  → Volumen de metano producido  $m^3/día$

SVT → Contenido de sólidos volátiles totales (kg)

BO → Potencial teórico de producción de metano ( $m^3CH_4/kgSVT$ )

K → Descomposición de los sólidos volátiles en el tiempo (adimensional)

TRH → Tiempo de retención en (días)

Los factores K y U se obtienen de las ecuaciones 4 y 5 respectivamente.

$$K = 0.6 + 0.0006 * e^{(0.1185 * SVT)} \quad (4)$$

$$U = 0.013 * T^\circ - 0.129 \quad (5)$$

Dónde:  $T^\circ$  → Temperatura de promedio de operación del biodigestor ( $^\circ C$ )

Para conocer el volumen de metano producido  $m^3/día$  ( $V_{CH_4}$ ) que es posible obtener de cada sustrato empleó el desarrollo matemático presentado en el Anexo D. Donde los datos utilizados fueron temperatura, TRH y resultados proximales de sustratos conforme los citados por (Arias, 2019) y (Arrieta, 2016). Como temperatura promedio se empleó un valor de  $30^\circ C$  (mesofílica) y un tiempo de retención de 30 días que se establece como el indicado para este rango de temperatura. En la Tabla 2.9 se presenta la producción de biogás por sustrato en ( $m^3/h$ ).

TABLA 2.9  
Producción de biogás por sustrato

Materia prima	PTBM (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgSV)	SV (kg)	K	U	V <sub>CH<sub>4</sub></sub> (m <sup>3</sup> /h)	Biogás (m <sup>3</sup> /h)
Estiércol vacuno	0.52	105.91	0.60	3.88	2.30	4.25
Estiércol porcino	0.53	8.23	0.60	3.88	0.18	0.33
Total	0.52	114.14	0.60	3.88	2.48	4.60

Fuente: Elaborado por el Autor

Se obtuvo un volumen de producción de metano de 0.088 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg y 0.084 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg para estiércol bovino y porcino respectivamente, lo cual equivale a 55.16 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/día y 4.33 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/día.

Para los valores de V<sub>CH<sub>4</sub></sub> de los residuos que no fueron caracterizados por ser poco representativos como son el estiércol de gallina, de cuyes y los RSUO. Se utilizó valores publicados por diferentes estudios, tales como: Arias, (2019); Chorkulak, (2016); Camacho, Villada, & Hoyos, (2016). En la Tabla 2.10 se presenta el total de biogás obtenido producto de la digestión anaerobia de la materia prima disponible.

TABLA 2.10  
Producción total de biogás

Materia Prima	Cantidad de residuos al día (kg/día)	Volumen de metano producido por kilogramo de materia prima (m <sup>3</sup> /kg)	Volumen de biogás producido al día (m <sup>3</sup> /día)	Volumen de biogás producido por hora (m <sup>3</sup> /h)
Estiércol Vacuno	623.04	0.088	102	4.25
Estiércol Porcino	51.46	0.084	7.92	0.33
RSUO	12.19	0.05	0.68	0.02
Estiércol de gallina	18	0.08	2.05	0.085
Estiércol de cuyes	31.15	0.06	2.67	0.11
Total	735.84	-	115.32	4.80

Fuente: Elaborado por el Autor

Como lo denota la Tabla 2.10 la mayor cantidad de biogás que se produce lo genera el estiércol de ganado vacuno, esto debido a que representa la mayor cantidad de materia prima y a las favorables características que presenta para la formación y desarrollo de las bacterias metanogénicas.

## **2.4 Aspectos vinculados a la producción de biogás**

En el apartado siguiente se determina la cantidad de agua que se necesita para la producción de biogás, así como también las dimensiones del reactor y la zanja donde será colocado. Además, se realiza la selección de los materiales que intervienen en el proceso de obtención, conducción y purificación del biogás.

### **2.4.1 Cantidad de agua necesaria para el proceso de D.A**

Para el proceso de digestión anaeróbica se necesita mezclar la materia prima (estiércol) con agua, para determinar la relación de litros de agua que se necesita por cada kilogramo de materia prima fresca se emplea la Ecuación 6, la cual utiliza los sólidos totales presentes en los recursos biomásicos y los relaciona con la cantidad deseada de sólidos totales para la carga diaria del biodigestor. Para biodigestores tubulares se recomienda una cantidad de sólidos totales entre el 8% y el 12 %. (Villanueva, Nájera, Gómez, Hernández, & Velasco, 2011).

$$\text{Agua (l)} = \frac{\%ST \text{ sustrato}}{\%ST \text{ deseado}} - 1 \quad (6)$$

Dónde: %ST sustrato → valor porcentual de sólidos totales en el sustrato.

%ST deseado → valor porcentual de sólidos totales deseados en la mezcla.

Aplicando la Ecuación 6 para un porcentaje deseado de sólidos totales en la mezcla (estiércol + agua) de 10% y un porcentaje de sólidos totales en el estiércol fresco de 18% se determinó una relación de 1:1, es decir que por cada kilogramo de sólidos totales presentes en el estiércol fresco se necesita 1 litro de agua para su disolución. Se debe recalcar que el agua a emplear no debe poseer cloro puesto que se puede matar a las bacterias e inhibir el proceso de digestión, para evaporar el cloro u otros agentes inhibidores es recomendable dejar el agua 2 o 3 horas al sol antes de su uso para la mezcla. Se puede emplear el agua residual de las viviendas, el agua de lluvia o la misma agua residual del proceso de limpieza de los establos.

Según (EL COMERCIO, 2015) la media de consumo de agua por persona en Ecuador es de alrededor de 200 l por día de los cuales alrededor del 70% puede reutilizarse para diferentes



procesos. Mediante la utilización de la Ecuación 7 se puede determinar la cantidad de agua disponible en la comunidad.

$$\text{Agua disponible (l)} = AD * P * fr \quad (7)$$

Dónde: AD → La cantidad de agua consumida por persona al día (l)

P → Número de personas

fr → Factor de recuperación (0.7)

Mediante el empleo de la Ecuación 6 se determinó que para 675 kg de estiércol fresco al día se necesita 675 litros de agua para su disolución. Mediante el empleo de la Ecuación 7 se determinó la cantidad de agua que puede ser reutilizada en la comunidad es de 11200 L o su equivalente 11.2 m<sup>3</sup>. Por lo cual se evidencia que el agua disponible en la comunidad satisface completamente la demanda de agua del proceso.

#### 2.4.2 Determinación del volumen del biodigestor

El biodigestor seleccionado para este estudio es de tipo tubular o salchicha, debido a que este tipo de biodigestor presentó mayores ventajas técnicas y sobre todo económicas para ser implementado en zonas rurales conforme lo cita la Tabla 1.5.

Los biodigestores tubulares normalmente están elaborados de una bolsa de plástico PE (geomembrana) de 1mm de espesor, la cual es resistente al entorno. El uso de tuberías PVC es común para recoger y transportar el biogás en este tipo de biodigestores. Con el propósito de mantener la temperatura en áreas frías o en las noches, se entierra la bolsa en una zanja de manera total o parcial. Para ayudar a proteger de los agentes atmosféricos como los rayos UV y las fuertes precipitaciones se utiliza una cubierta generalmente de plástico. (Arias, 2019). En la Figura 21 se puede apreciar el modelo y partes principales de un biodigestor tubular.

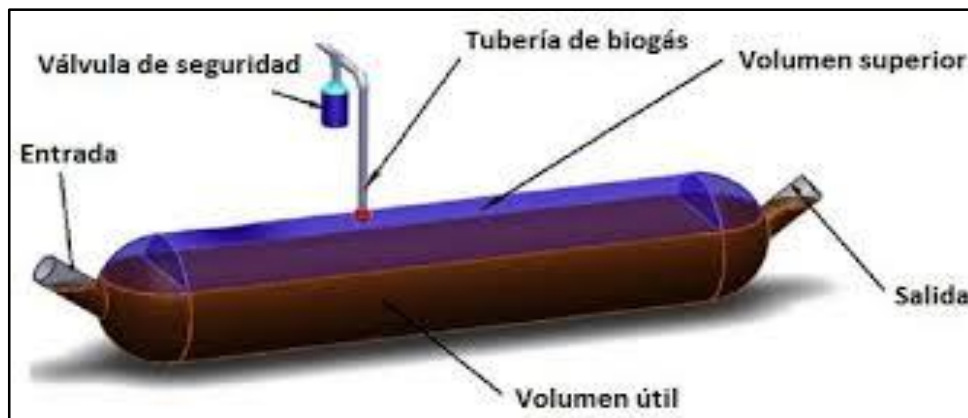


Figura. 20 Modelo biodigestor tubular  
Fuente: Recuperado de (Saavedra, Alamo, & Aldana, 2017).

Para determinar el volumen total del biodigestor primero se determina la cantidad diaria en L o m<sup>3</sup> de mezcla que alimentará al reactor, para lo cual se hace uso de la Ecuación 8.

$$\text{Carga Diaria (CD)} = \text{EF} + \text{Agua} \quad (8)$$

Dónde: CE → Cantidad de estiércol fresco (E.F) disponible al día (kg/día)

Agua → Cantidad de agua necesaria para disolver 1kg de E.F (L o m<sup>3</sup>)

Aplicando la Ecuación 10 para una relación de disolución de 1:1 se determinó un total de 1349 litros de mezcla diaria o su equivalente 1.35 m<sup>3</sup>.

El volumen total (VT) del biodigestor se expresa como la suma del volumen líquido (VL) y el volumen gaseoso (VG), como lo indica la Ecuación 9.

$$\text{VT} = \text{VL} + \text{VG} \quad (9)$$

Dónde: VT → Volumen total del biodigestor

VL → Es igual a la carga diaria (CD) por el tiempo de retención (TRH).

$$\text{VL} = \text{CD} * \text{TRH} \quad (10)$$

VG → Es igual al volumen gaseoso mismo que se expresa en función del VL.

$$\text{VG} = \frac{\text{VL}}{3} \quad (11)$$

Aplicando las Ecuaciones 9,10 y 11 se determinó:

$$\text{VL} = 1.35 \text{ m}^3 \times 30 \text{ días} = 40.5 \text{ m}^3$$

$$\text{VG} = \frac{40.5 \text{ m}^3}{3} = 13.5 \text{ m}^3$$

$$\text{VT} = 40.5 \text{ m}^3 + 13.5 \text{ m}^3 = 54 \text{ m}^3$$

Para determinar la longitud del biodigestor se lo realizó en función del ancho del rollo, como se muestra en la Tabla 2.11 pueden existir varios modelos de diseño de biodigestor, pero no todos resultan convenientes puesto que si no existe una correcta relación entre la longitud y el diámetro del biodigestor se pueden ocasionar problemas en el flujo de la materia prima afectando directamente a la producción de biogás. Con el uso de la Ecuación 12 se puede determinar la correcta relación de longitud y diámetro del biodigestor, la relación más recomendada es de 7 en un intervalo de 5 a 10.

$$R_{Ld} = \frac{L}{d} \quad (12)$$

Dónde:  $R_{Ld}$  → Relación longitud y diámetro, rango de 5-10 óptimo 7 (adimensional).

L → Longitud del biodigestor (m).

d → Diámetro del biodigestor (m).

TABLA 2.11  
Ensayos para el diseño del biodigestor en función del ancho del rollo

Ancho de rollo (m)	Circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro	Sección eficaz (m <sup>2</sup> )	Longitud del biodigestor (m)	Relación L/d
1	2	0.32	0.64	0.32	$V_T/0.32$	263.67
1.50	3	0.48	0.95	0.72	$V_T/0.72$	78.94
2	4	0.6	1.27	1.27	$V_T/1.27$	33.48
2.5	5	0.79	1.59	1.99	$V_T/1.99$	17.06
3.5	7	1.11	2.22	3.90	$V_T/3.90$	6.23

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se puede observar aplicando la Tabla 2.11 pueden existir varios modelos de diseño, pero el que presentó la mejor  $R_{Ld}$  para un biodigestor de 54 m<sup>3</sup> fue con un ancho de rollo de 3.5 m y una longitud de aproximadamente 14 m.

### 2.4.3 Dimensionamiento de la zanja

El biodigestor a instalar debe ser ubicados en una zanja trapezoidal, esto con el objetivo de aumentar y mantener la temperatura del proceso, en zonas andinas es común utilizar paja y geotextil como una base para el biodigestor y que sirva de aislante térmico. Las dimensiones de la zanja se denominarán de la forma que ilustra la Figura 22.

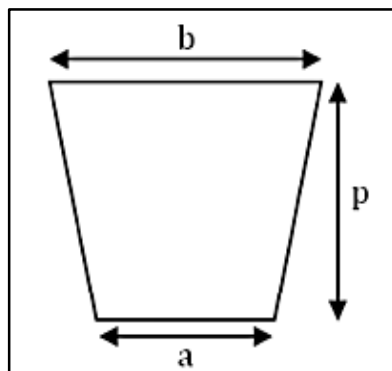


Figura. 21 Medidas de la zanja  
Fuente: Adaptada de (Forget, 2011).

Donde:  $b \rightarrow$  Ancho superior de la zanja (diámetro de la bolsa)

$a \rightarrow$  Ancho inferior de la zanja (80% de  $b$ )

$p \rightarrow$  Profundidad (90% de  $b$ )

Para una bolsa de geomembrana de 1 mm de grosor de 3.5 m de ancho y con un diámetro de 2.22 m las medidas de la zanja serán:

$b = 2.22$  m;  $a = 1.77$  m;  $p = 2$  m

El largo de la zanja corresponde a la longitud calculada de 14 m más los 0.60 m que corresponden al espacio donde se ubicarán las tuberías de entrada y salida del biodigestor. En la Figura 23 y 24 se presenta el modelo de la zanja.

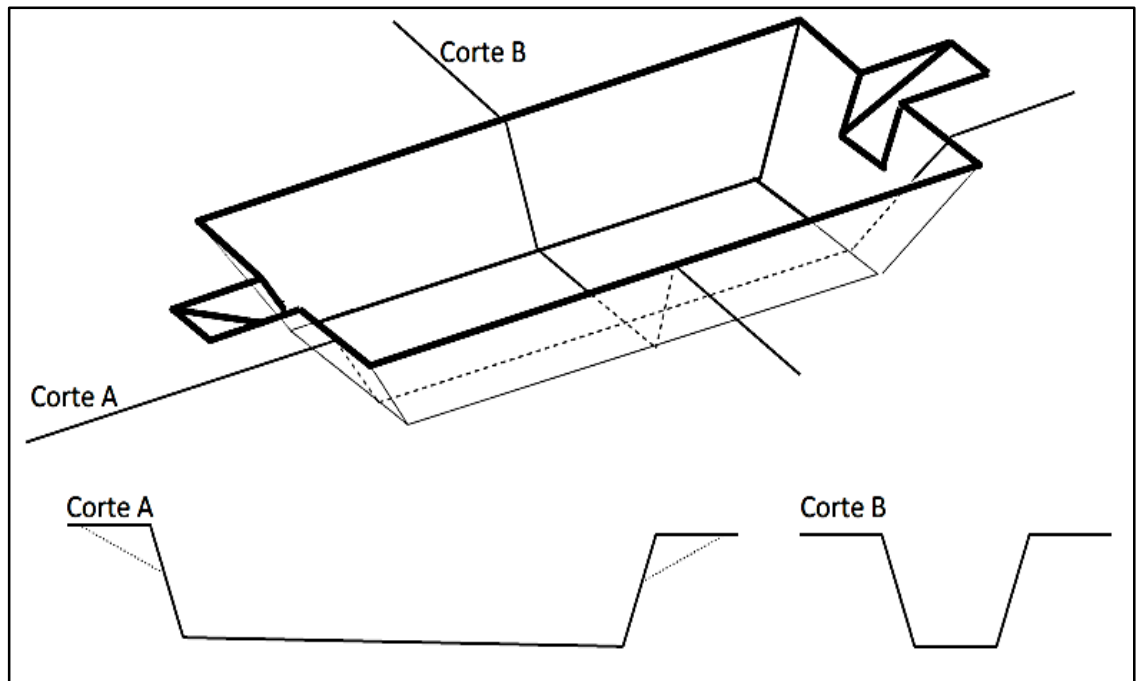


Figura. 22 Vista isométrica superior de la zanja

Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de (Saavedra, Alamo, & Aldana, 2017).

La base de la zanja debe ser rellena con paja y geotextil esto con el objetivo de aislar al reactor térmicamente del suelo y evitar que piedras y raíces causen rupturas en la geomembrana.

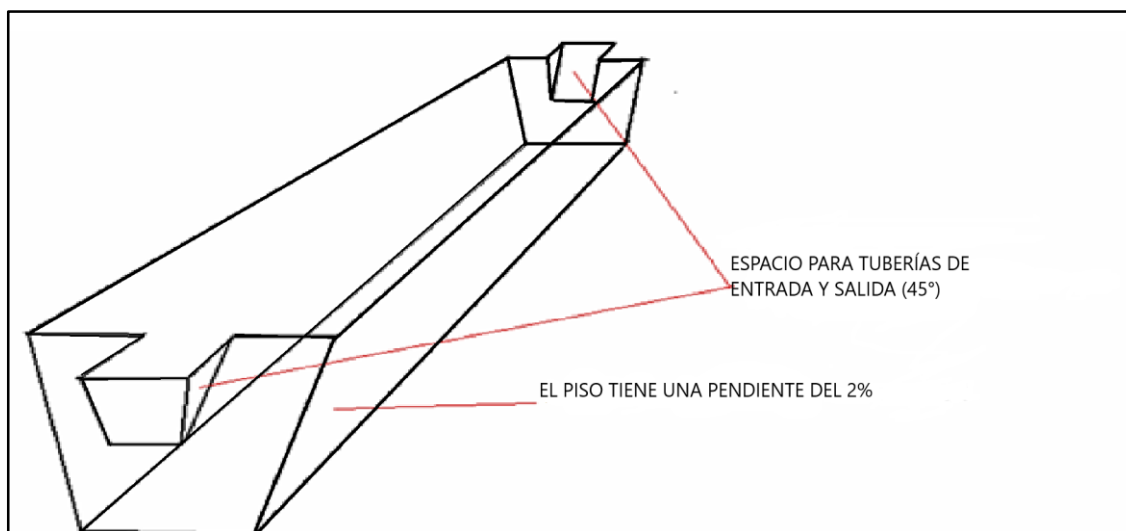


Figura. 23 Vista isométrica de la zanja  
 Fuente: Elaborada por el Autor, adaptada de (Poggio, 2007).

#### 2.4.4 Selección de materiales

Se enlista y detalla los principales materiales que se requiere para realizar el proceso de obtención, transporte y aprovechamiento del biogás. Estos son materiales de fácil acceso, existen en el mercado local, son económicos y en su mayoría están elaborados de PVC para evitar las acciones corrosivas del sulfuro de hidrogeno ( $\text{SO}_2$ ) especialmente antes de su proceso de filtración.

#### Reservorio de biogás y soplador

Para cuando el biogás no se utilice será necesario un reservorio donde pueda almacenarse el biogás, el reservorio también se utiliza para aumentar la presión del biogás mediante la ayuda de un soplador, el reservorio puede estar elaborado del mismo material que el reactor (geomembrana) el volumen del reservorio puede ser calculado mediante la Ecuación 13.

$$V_R = Q_B \times t \quad (13)$$

Dónde:  $V_R \rightarrow$  Volumen del reservorio en  $\text{m}^3$ .

$Q_B \rightarrow$  Producción de biogás en  $\text{m}^3$  por hora.

$t \rightarrow$  Tiempo máximo de no utilización del biogás en horas.

En vista que el objetivo del proyecto es utilizar el biogás en un generador eléctrico es necesario la selección de un soplador para controlar la presión, se utilizará un soplador del tipo

canal lateral, los parámetros de selección del mismo son: La presión requerida en el generador (50mbar) y el caudal de biogás (5.2 m<sup>3</sup>/h). En la Figura 26 se indica el diagrama caudal – presión para sopladores con motor a 60 Hz (3500 rpm), la hoja de detalle se la presenta en el Anexo E.

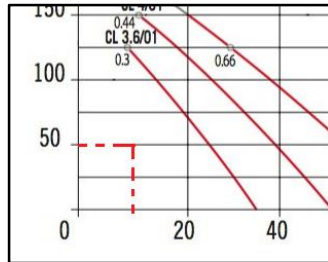


Figura. 24 Diagrama de caudal - presión  
Fuente: AQUAlimpia

El soplador que mejor se adapta es el CL 3,6/01 modelo ATEX, el motor tiene una potencia de 0.3 kW a 60Hz.

### “Pasamuros” o flanges

El “pasamuros” (Figura 27) es el elemento encargado de atravesar el grosor de la geomembrana generalmente de 1mm y conducir el biogás generado en el interior del biodigestor a los conductos exteriores, consta de dos partes el “macho” y la “hembra” y presenta discos sólidos a modo de tuercas.



Figura. 25 Pasamuros  
Fuente: [www.vidri.com.sv](http://www.vidri.com.sv)

Para obtener un sellado hermético se usa discos de goma estos se ubicarán entre los discos del “pasamuros”.

### Tubos de entrada y salida

Debido a la cantidad de carga diaria disponible y a la cantidad de sólidos totales presentes la mezcla se seleccionó tubería de desagüe PVC de 4” de 1 m de longitud, también es necesario incluir una tubería para la purga de lodos cuando estos se acumulen en la parte baja del

biodigestor. Para la sujeción de la geomembrana a la tubería se puede emplear ligas hechas de neumáticos. En la Figura 28 se presenta un ejemplo de tubería PVC.



Figura. 26 Tubería de PVC de 4"  
Fuente: [www.vidri.com.sv](http://www.vidri.com.sv)

Los tubos de entrada y salida del biodigestor son los encargados de permitir el ingreso y posteriormente la salida de la mezcla una vez efectuado el proceso de digestión anaeróbica.

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

Para conducir el biogás desde el punto de generación al punto de consumo se ha predispuesto emplear tubería de riego de PVC de 1/2" la cantidad de tubería dependerá de la distancia entre el punto de generación (biodigestor) y el punto de consumo (grupo electrógeno). De igual manera será necesario el uso de codos y "tees" igualmente de PVC. En la Figura 29 se presenta a modo de ejemplo tuberías, codo y "tee" de PVC.



Figura. 27 Tubería PVC de 1/2 "  
Fuente: [www.grainger.com.mx](http://www.grainger.com.mx)

La tubería PVC es la más indicada para el trabajo de transportar el biogás debido a que este material no corre el riesgo de oxidarse por acción del Sulfuro de hidrogeno ( $\text{SO}_2$ ).

### **Válvula de seguridad**

La válvula de seguridad (Figura 30) es uno de los elementos más importantes en el proceso, esta se encarga de mantener una presión constante en el biodigestor y permitir la liberación de exceso de gas en caso de que se produzca, sin este dispositivo se corre el riesgo que el biodigestor explote o se deteriore.

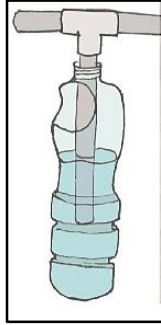


Figura. 28 Válvula de seguridad  
Fuente: Recuperado de (Chorkulak, 2016)

Es común la utilización de válvulas de seguridad artesanales, estas cumplen bien con su objetivo y resultan económicas de implementar. Para procesos de mayor rigurosidad como procesos industriales se puede hacer uso de las válvulas de seguridad existentes en el mercado.

### **Válvula esférica de paso**

La válvula de paso (Figura 31) es la encargada de abrir o cerrar el paso del biogás a través de las tuberías, se seleccionó de forma esférica porque el mecanismo de apertura y cierra es más seguro y de esta manera se es menos propenso a fugas.



Figura. 29 Válvula esférica de paso  
Fuente: [www.grainger.com.mx](http://www.grainger.com.mx)

La válvula esférica de paso al estar elaborada de PVC no es propensa a oxidarse por acción del sulfuro de hidrogeno, está va ubicada después de la válvula de seguridad.

### **Filtro de Sulfuro de Hidrógeno**

Como se mencionó en el apartado 1.6.2 (Purificación del biogás) para hacer uso del biogás generado del proceso de descomposición anaeróbico es necesario primero dar un proceso de filtrado al biogás, esto con el propósito de eliminar impurezas que puedan afectar al funcionamiento del grupo electrógeno o mecanismo seleccionado para el aprovechamiento del mismo. En la Figura 32 se puede apreciar un ejemplo de filtro de remoción de sulfuro de hidrogeno el cual se basa en el uso de virutas de hierro.





Figura. 30 Filtro de sulfuro de Hidrogeno  
Fuente: Recuperado de (Diaconia. 2014)

Una vez purificado el biogás este puede ser usado ya sea en grupos electrógenos o para su combustión directa en procesos de cocción, el sulfuro de hidrógeno ( $\text{SO}_2$ ) es el gas responsable de la emanación de malos olores al momento de emplear el biogás. En la Figura 33 se presenta una de las posibles disposiciones de la planta general de biogás y energía.

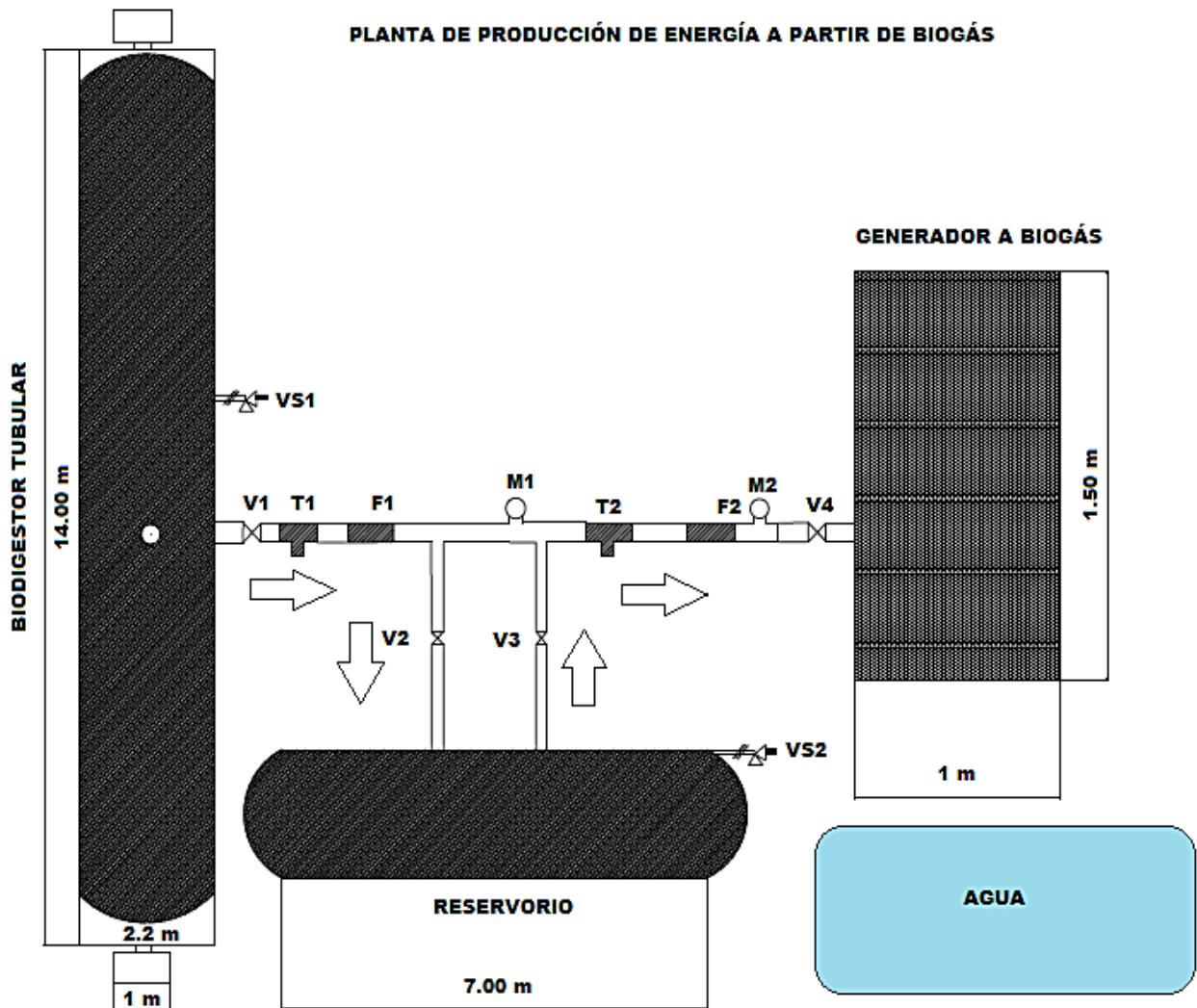


Figura. 33 Disposición de la planta  
Fuente: Elaborada por el Autor

Donde: VS1, VS2 → Válvulas de seguridad

V1, V2, V3, V4 → Válvulas de paso

T1, T2 → Trampas de agua

M1, M2 → Manómetros

F1, F2 → Filtros de SO<sub>2</sub>

## **2.5 Aspectos vinculados a la generación de energía eléctrica**

En el apartado siguiente se realiza un análisis de los principales aspectos y factores que intervienen en la producción de energía eléctrica a partir de biogás, se analiza el potencial energético del biogás y la potencia eléctrica neta que se puede obtener.

### **2.5.1 Potencial energético del biogás**

El potencial energético del biogás se presenta en función del porcentaje de metano que tiene el biogás, puesto que este compuesto es el principal vector energético del biogás. Lo primero que se debe realizar es convertir el volumen de biogás disponible en energía eléctrica, considerando que: un metro cúbico de biogás obtenido de la degradación de la materia prima disponible tiene 55.4% de metano (CH<sub>4</sub>), el valor calorífico del metano es 9.44 kWh/m<sup>3</sup>, los motores de combustión interna tienen una eficiencia del 35% aproximadamente. (Lalvay & Vidal, 2013).

$$P_E[\text{kWh}] = 55.4\% \times 9.44 \text{ kWh/m}^3 = 5.23 \text{ kWh/m}^3 \quad (14)$$

Dónde: P<sub>E</sub>[kWh] → Potencial energético del biogás

9.44 kWh → Poder calorífico del metano

55.4% → Porcentaje de metano en el biogás

El poder calorífico que presenta el biogás obtenido producto de la descomposición anaeróbica de estiércol vacuno y porcino es de 5.23 kWh/m<sup>3</sup>, con este valor se puede determinar la potencia eléctrica neta.

### **2.5.2 Potencia eléctrica neta**

Para calcular la potencia eléctrica neta se considera el potencial energético del biogás calculado anteriormente y la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna, conforme lo indica la Ecuación 15. (Lalvay & Vidal, 2013).

$$P_{EN}[\text{kWh}] = Q_B \times P_E \times n_t \quad (15)$$

Dónde:  $P_{EN}[\text{kWh}] \rightarrow$  Potencia eléctrica neta

$P_E \rightarrow$  Potencial energético del biogás

$n_t \rightarrow$  Eficiencia de los motores de combustión interna (aproximadamente 35%)

$$P_{EN}[\text{kWh}] = 4.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 5.23 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \times 0.35 \times 24\text{h} = 202 \text{ kWh}$$

Conforme lo indica el procedimiento matemático anterior la energía eléctrica neta disponible al día es de 202 kWh.

### 2.5.3 Potencia instalada

La potencia instalada corresponde directamente a la potencia que es capaz de suministrar el grupo electrógeno, es la potencia especificada en la placa de características de cada unidad generadora. Previo a determinar la potencia instalada hay que considerar que las operaciones de los motores de combustión interna se ven afectadas por la altitud cuando estos superan los 500 m.s.n.m. Según Lalvay & Vidal (2013), por cada 100 m de altitud a partir de los 500 m.s.n.m se experimenta un devalúo del 1%. La comunidad de Yuracucito se encuentra ubicada a aproximadamente 2720 m.s.n.m por cual se espera un devalúo en el funcionamiento del grupo electrógeno.

Considerando un devalúo de 1%, se determinó que para una altura de 2720 m.s.n.m se presenta un devalúo total de 20%. A modo de ejemplificación si se arranca la generación de energía eléctrica con un grupo electrógeno de 30 kW a una altura de 2720 m.s.n.m la potencia máxima que se podrá obtener es de 24 kW.

Con las consideraciones antes mencionadas y a modo de estudio se sugiere la utilización de un generador a gas natural de 27 kW monofásico similar al ofertado por la marca Generac, la Tabla 2.12 presenta las principales características del generador y en el Anexo F se presenta la hoja de características del mismo.

TABLA 2.12  
Características del generador

Parámetro	Unidad	Valor
Potencia nominal (NG)	kW	25
Frecuencia	Hz	60
Voltaje	V	120/240
Fase/s	-	1
Consumo de combustible (75% potencia nominal)	m <sup>3</sup> /h	12.58

Fuente: Adaptado de (GENERAC, 2019)

Realizando el análisis de consumo de biogás se determinó que con el biogás disponible al día en la central (110.4 m<sup>3</sup>) el generador puede trabajar aproximadamente 9 horas, pero con el propósito de dejar un rango de recuperación de biogás se trabajará únicamente 6 horas al día.

#### 2.5.4 Producción energética media anual

La producción de energía que teóricamente se puede obtener al año de la central de biogás se calcula considerando la potencia instalada, las horas anuales que operará la central tomando en cuenta la disponibilidad de la planta por mantenimiento (85%) y el factor de planta que corresponde a un valor de 0.85 para centrales de producción a biomasa y biogás. (Lalvay & Vidal, 2013).

$$P_{EA} = P_{nom} instalada \times 1861.5 \text{ horas} \times 0.85 \quad (16)$$

(15)

Dónde:  $P_{EA}$  [kWh] → Producción energética anual

7466 → horas al año de disponibilidad de la planta

0.85 → Factor de planta (0.85) para biomasa y biogás

En Ta tabla 2.13 se presenta la recopilación de valores de energía anual disponible para solventar los requerimientos energéticos de la comunidad.

TABLA 2.13  
Disponibilidad anual de energía

Parámetros	Unidad	Valor
<b>Biogás</b>		
Producción anual de biogás	m <sup>3</sup>	40296
Porcentaje de metano	%	55.4
Potencial calorífico del biogás	kWh/m <sup>3</sup>	5.23
<b>Potencia eléctrica neta</b>		
Eficiencia eléctrica	%	35
Energía eléctrica disponible al año	kWh	73730
<b>Producción energética</b>		
Potencia nominal (75%)	kW	15
Energía eléctrica producida al año	kWh	23734

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se puede apreciar en la Tabla 2.13 la producción energética anual de la planta es de 23734 kWh al año lo que equivaldría a 65 kWh al día aproximadamente, energía que puede ser aprovechada por la comunidad para solventar las necesidades energéticas que actualmente no cubre con energía eléctrica, como son: agua caliente y calefacción de las viviendas. En la Tabla 2.14 se presenta un breve análisis de la energía que se requiere para suplir estas necesidades energéticas.

TABLA 2.14  
Energía requerida para agua caliente y calefacción

<b>Agua Caliente</b>			
Equipo	Potencia promedio	Energía demandada	Tiempo demandado
Duchas eléctricas (220 V)	3350 W	21.7 kWh	97 min
<b>Calefacción</b>			
Equipo	Potencia promedio	Energía demandada	Tiempo demandado
Calefactor unifamiliar (220 V)	2000 W	42 kWh	180 min

Fuente: Elaborado por el Autor

Con base en la Tabla 2.14 se puede deducir que la energía disponible al día (65 kWh) es capaz de cubrir la demanda de agua caliente y calefacción de la comunidad (63.7 kWh).

### 2.5.5 Ubicación de la central y distribución de energía eléctrica

La central de generación de energía a partir de biogás debe estar ubicada de manera estratégica para que el movilizar la materia prima (estiércol) hasta ella no represente un trabajo de mayor esfuerzo. La disposición de las viviendas en la comunidad de Yuracucrito se presenta en la Figura 34.

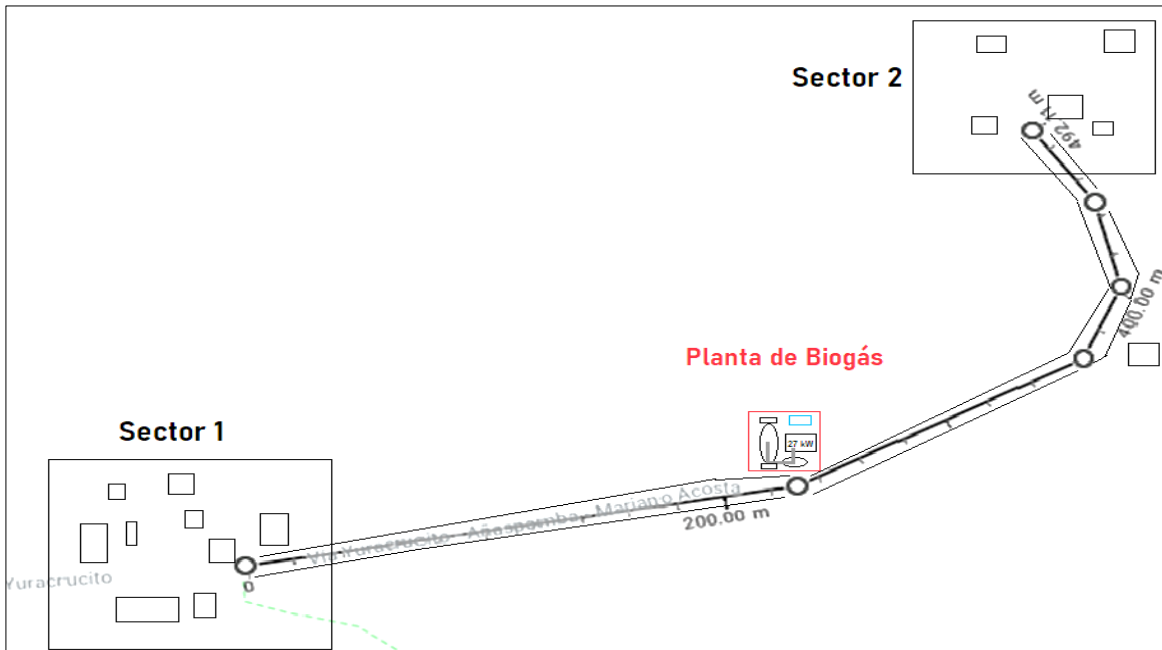


Figura. 34 Ubicación de la central de biogás  
Fuente: Elaborado por el Autor

Como se aprecia en la Figura 34 las viviendas de la comunidad se disponen mayormente en dos grupos o sectores, separados por una distancia de aproximadamente 450 m. Por lo cual se propone que la planta de generación de biogás se ubique a una distancia de aproximadamente de 200 m del sector 1 y a 250 metros del sector 2.

Para que la comunidad pueda beneficiarse de la energía eléctrica obtenida de la combustión del biogás en el generador, se propone la creación de una pequeña red de distribución en baja tensión (Figura 35), cuyo principal uso se centre en suplir los requerimientos energéticos que actualmente la comunidad de Yuracucrito no lo realiza con energía eléctrica, como es el agua caliente y la calefacción de las viviendas. Al momento las personas de la comunidad solventan estas necesidades con el uso de leña lo cual afecta a sus condiciones de vida y pone en riesgo su salud.

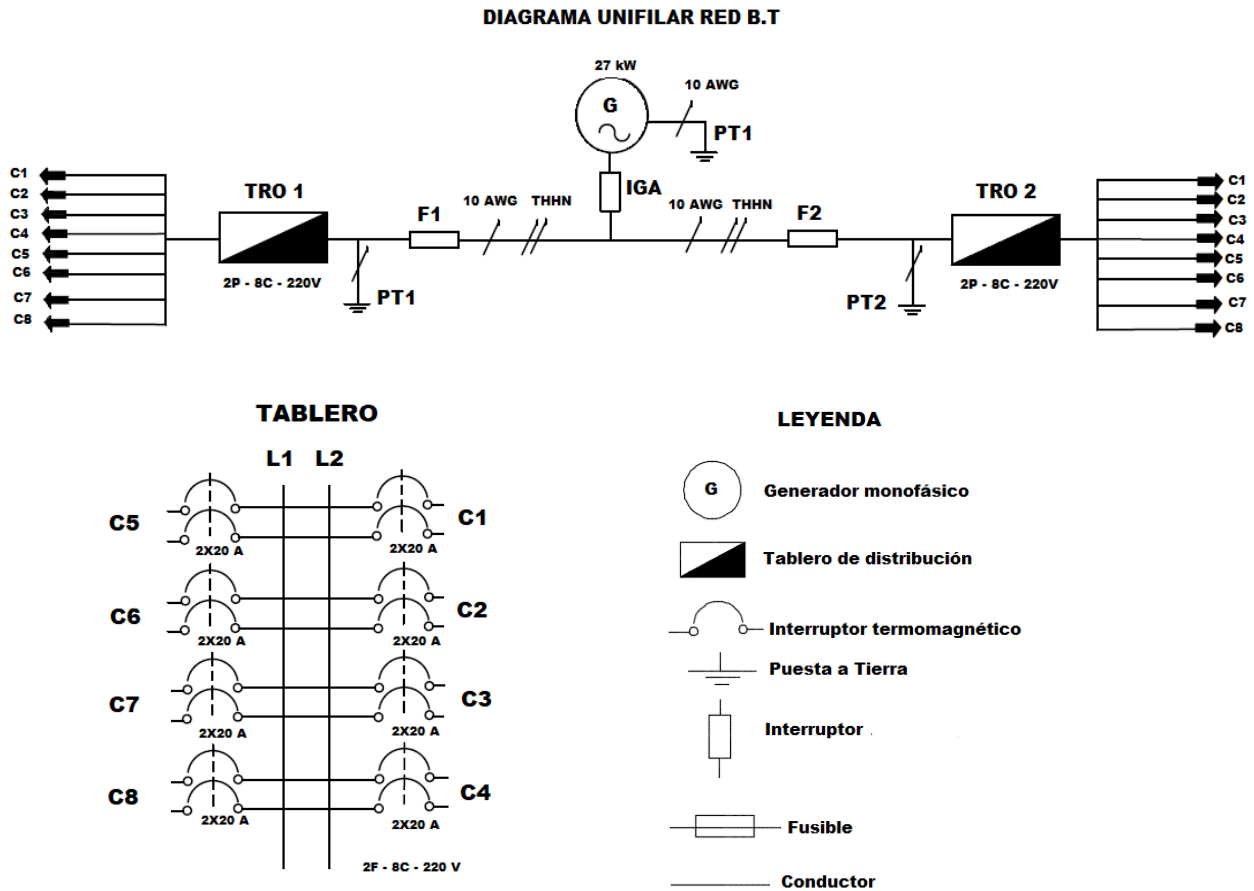


Figura. 35 Red de distribución a baja tensión  
Fuente: Elaborado por el Autor

Mediante el uso de Ecuación 17 se efectuó el respectivo cálculo de la sección de los conductores empleando la metodología de caída de tensión, esto con el fin de conocer la sección ( $\text{mm}^2$ ) requerida para los conductores y la corriente máxima que pueden transportar. Los resultados se presentan en la Tabla 2.15.

$$S = \rho_{\text{cu}} \frac{2 \times L \times I}{\Delta V} \quad (17)$$

Dónde:  $S \rightarrow$  Sección del conductor en  $\text{mm}^2$

$\rho_{\text{cu}} \rightarrow$  Resistividad del Cobre ( $0.01786 \Omega$ )

$L \rightarrow$  Longitud en m

$I \rightarrow$  Intensidad que soportará el conductor en amperios

$\Delta V \rightarrow$  Caída de tensión permitida en voltios

TABLA 2.15  
Sección de conductores

Distancia (m)	Corriente (A)	Caída de tensión (V)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Calibre (AWG)
G → T1 = 200	102.4	20.1 V (8.3%)	35.28	2
G → T2 = 250	64 A	20.1 V (8.3%)	28	2
T1 → C1 = 15	16 A	2.2 V (1%)	3.89	10
T1 → C2 = 6	16 A	2.2 V (1%)	1.55	10
T1 → C3 = 23	16 A	2.2 V (1%)	5.97	10
T1 → C4 = 19	16 A	2.2 V (1%)	4.93	10
T1 → C5 = 40	16 A	2.2 V (1%)	10.39	8
T1 → C6 = 43	16 A	2.2 V (1%)	11.17	6
T1 → C7 = 50	16 A	2.2 V (1%)	12.98	6
T1 → C8 = 58	16 A	2.2 V (1%)	15	6
T2 → C1 = 60	16 A	2.2 V (1%)	15.58	6
T2 → C2 = 54	16 A	2.2 V (1%)	14.062	6
T2 → C3 = 56	16 A	2.2 V (1%)	14.54	6
T2 → C4 = 70	16 A	2.2 V (1%)	18.18	6
T2 → C5 = 62	16 A	2.2 V (1%)	16.10	6

Fuente: Elaborado por el Autor

Donde: G → T1 Distancia del generador al Tablero 1

G → T2 Distancia del generador al Tablero 2

T1 → C (1,2,3, etc.) Distancia del Tablero 1 a los circuitos

T2 → C (1,2,3, etc.) Distancia del Tablero 2 a los circuitos

Se calculó las secciones de los conductores a un voltaje de 220V debido a que si se lo realiza con un voltaje de 120 V las corrientes serán mayores y por ende los conductores tendrán que ser de mayor calibre. Según lo señala la Tabla 2.15 el conductor de mayor calibre que se requiere para la implementación de la red es el 2 AWG, se recomienda con asilamiento de tipo TTU el cual es resistente a la humedad, calor y puede ser enterrado directamente o a la intemperie. Este conductor tiene un peso aproximado de 0.37 kg por cada metro tendido las características y cotización se presentan en el Anexo G.



No se planteó la interconexión a la red pública del generador debido a que actualmente el Ecuador no dispone de una regulación que establezca las condiciones y características necesarias para que plantas de micro generación (< 100 kW) a biogás o biomasa puedan ser partícipes del autoabastecimiento y venta de excedentes a la red de distribución. Actualmente el Ecuador cuenta con la regulación Nro. ARCONEL – 003/18 la cual regula la micro generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica.

El directorio de la agencia de regulación y control de electricidad dispuso la regulación No. ARCONEL – 004/15 que establece los criterios y requisitos técnicos para la conexión de generadores renovables no convencionales a la red de medio y alto voltaje para potencias nominales mayores o iguales a los 100 kW.

## Capítulo 3

### Análisis de costos y beneficios del proyecto

En este capítulo se realiza el análisis económico que conllevaría la implementación de la planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás en la comunidad de Yuracucito. Se busca conocer el monto total de recursos económicos que serán necesarios para efectuar el proyecto, además se pretende determinar la factibilidad económica del proyecto. Para ello se utilizará los indicadores de rentabilidad TIR, VAN, B/C y se considerará una vida útil del proyecto de 20 años.

Se hace un análisis de los diferentes beneficios que implica la ejecución del proyecto, tales como: beneficios ambientales, sociales y tecnológicos. Debido a que el objetivo principal de este proyecto es realizar el aprovechamiento energético de los residuos agropecuarios como son los estiércoles de ganado para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad de Yuracucito los principales beneficios e impactos son intangibles, es decir que no se pueden ni deben monetizar.

#### 3.1 Flujo de caja

El análisis del flujo de caja es la parte central al momento de evaluar la rentabilidad de la inversión en un proyecto, el estudio del flujo de caja es la proyección del comportamiento que tendrán los egresos e ingresos a lo largo de la vida útil del proyecto. (Lalvay & Vidal, 2013).

Al realizar la proyección del flujo de caja del proyecto se busca medir la rentabilidad económica y la capacidad de pago que se tendrá frente a los posibles créditos que se soliciten para efectuar el proyecto.

##### 3.1.1 Evaluación de costos del proyecto

Cuando se lleva a cabo un proyecto se presentan varios tipos de costos, tales como: costos de inversión, costos de operación y costos de mantenimiento. La evaluación de estos costos es importante debido a que repercuten en la toma de decisión del proyecto.

##### Costos de inversión

El costo de inversión representa el valor monetario que será necesario para adquirir, transportar e instalar los equipos y materiales destinados a la producción de biogás y posterior producción de energía eléctrica.

Los costos de inversión del proyecto fueron separados en dos secciones, la primera sección centrándose en los materiales, equipos y mano de obra necesaria para la producción del

biogás. La segunda sección analiza los costos de inversión referentes a la producción de energía eléctrica.

### Costos relacionados a la producción de biogás.

A continuación, en la Tabla 3.1 se presenta un desglose de los materiales y equipos que intervienen en la producción de biogás a partir de la descomposición anaeróbica de los estiércoles de ganado bovino y porcino. Se hace una referencia al costo de adquisición de cada material y equipo, referencias tomadas de mercados nacionales e internacionales (e-markets).

TABLA 3.1  
Costos de materiales, equipos y mano de obra para la producción de biogás

Costos de materiales				
Objeto	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Costo total en USD
Geomembrana PVC 1mm	m <sup>2</sup>	3.00	140	420.00
Geotextil 1mm	m <sup>2</sup>	0.90	100	90.00
Tubería de PVC 4"	m	1.20	2	2.40
Tubería de PVC ½"	m	0.75	8	6.00
Tee de PVC ½ "	Global	0.50	4	2.00
Codos de PVC ½" (90°)	Global	0.50	4	2.00
Válvula esférica PVC ½"	Global	1.20	4	4.80
Filtros de H <sub>2</sub> S	Global	10.00	2	20.00
Pasamuros PVC ½"	Global	0.90	2	1.80
Manómetro de bronce	Global	12.00	2	24.00
Misceláneos	-	-	-	20.00
	Subtotal			593.00
Costos de equipos				
Soplador CL 3,6/01	Global	100.00	1	100.00
Transporte e importación	Global	20.00	1	20.00
	Subtotal			120.00
Costos mano de obra e instalación				
Zanja	Global	30.00	1	30.00
Instalación de reactor y tubería	Global	30.00	1	30.00
	Subtotal			60.00
	Total			773.00

Fuente: Elaborado por el Autor, adaptada de (alibaba, (2019); grainger (2019); vidri (2019)).

En la Tabla 3.1 no se consideró materiales adicionales que se utilizan en la producción de biogás, mismos que no tienen un costo fijo. Estos se presentan en la Tabla 3.2

TABLA 3.2  
Materiales sin costo fijo

Material	Uso
Paja	Para el fondo de la zanja
Bombril	Para el filtro de H <sub>2</sub> S
Alambre de amarre	Para fijar las tuberías y el gasómetro
Estacas	Para fijar las tuberías de entrada y salida
Palos de madera	Para soporte
Herramienta	Martillar, atornillar, cortar, etc.

Fuente: Elaborado por el Autor

Los materiales para la producción, almacenamiento y transporte de biogás se recomiendan de PVC puesto que este material no es susceptible a la corrosión por H<sub>2</sub>S, son relativamente económicos y fáciles de adquirir.

### **Costos relacionados a la producción de energía eléctrica**

En la Tabla 3.3 se presentan los materiales y equipos necesarios para la producción de energía eléctrica a partir del biogás disponible en la comunidad. Se hace una referencia al costo de adquisición de cada material y equipo, referencias de precios tomadas de mercados nacionales e internacionales (e-markets). A demás se incluye el costo de mano de obra correspondiente a la instalación y el transporte de los equipos.

TABLA 3.3  
Costos de materiales, equipos y mano de obra para la producción energía

Costos de materiales				
Objeto	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Costo total en USD
Conductor eléctrico TTU (2 AWG)	m	3.21	900	2896.20
Conductor eléctrico TTU (6 AWG)	m	1.42	906	1289.24
Conductor eléctrico TTU (8 AWG)	m	1.02	80	81.60
Conductor eléctrico TTU (10 AWG)	m	0.64	84	53.76
Conductor eléctrico TTU (12 AWG)	m	0.40	42	16.80
Poste de madera (3 m)	Global	50.00	9	450.00
Aislador tipo carrete cerámica	Global	9.00	18	162.00
Bornas	Global	1.20	4	4.80
Tablero de distribución (2P-8C)	Global	40.00	2	80.00
Varilla copperweld (1.8 m)	Global	8.00	4	32.00
Interruptor termomagnético (2P-20A)	Global	20.00	13	260.00
Misceláneos	-	-	-	40.00
Subtotal				5366.40
Costos de equipos				
Generador GENERAC RG027 – 27kW (60 Hz - 1P)	Global	12000.00	1	12000.00
Transporte e importación	Global	1440.00	1	1440.00
Subtotal				13440.00
Costos mano de obra e instalación				
Instalación generador	Global	1200.00	1	1200.00
Elaboración de red a baja tensión	Global	600.00	1	600.00
Subtotal				1800.00
Total				20,606.40

Fuente: Elaborado por el Autor, adaptada de (GENERAC (2019); ElectroCables, (2019); grainger (2019); vidri (2019)).

Sumando el presupuesto determinado para la producción de biogás y de energía eléctrica se tiene como resultado un monto total de 21379.40 dólares estadounidenses. Rubro que no incluye los costos por operación y mantenimiento que se detallan en el apartado siguiente.

### Costos por operación y mantenimiento de la planta.

Los costos de operación y mantenimiento de la planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás se detallan en la Tabla 3.4. Donde se consideraron rubros como: cambios de aceite del generador, cambio de filtros, mantenimiento de la instalación eléctrica, etc.

TABLA 3.4  
Costos de operación y mantenimiento

Rubro	Costo	Veces al año	Costo total
Cambio de aceite	10.00	4	40.00
Cambio de filtros	20.00	4	80.00
Mantenimiento de geomembrana	10.00	4	40.00
Cambio de filtros de H <sub>2</sub> S	20.00	6	120.00
Mantenimiento de generador	50.00	2	100.00
Mantenimiento de red	20.00	2	40.00
Total			420.00

Fuente: Elaborado por el Autor

Como se mencionó anteriormente en plantas de producción de biogás con reactores de tipo tubular no se requieren de personal técnico para su operación y mantenimiento. Al contrario de la planta de producción de energía donde si sería necesaria la intervención de personal capacitado para el mantenimiento como se detalla en la Tabla 3.4.

#### 3.1.2 Evaluación de Ingresos

En este punto se analizarán los posibles ingresos que se pueden obtener al poner en funcionamiento la central de producción de energía eléctrica a partir de biogás en Yuracucito. Se considerará como ingreso a la energía eléctrica disponible al año que se deja de consumir de la red pública, el ahorro por compra de fertilizante para los cultivos de la comunidad y también se analizará la posibilidad de ingreso por venta de bonos de carbono.

#### Ingreso por ahorro en energía eléctrica

Como se determinó en el apartado 2.5.4 (Producción energética media anual) la energía eléctrica disponible en la comunidad al año es de 23734 kWh. Actualmente el kWh de energía eléctrica para tarifa residencial en Ecuador es de 0.08 USD (dólares americanos), se tomará este valor como referencia del precio. La Tabla 3.5 presenta el ingreso por ahorro de consumo de energía eléctrica.

TABLA 3.5  
Ingreso por ahorro de energía eléctrica

Energía (kWh) al año	Precio del kWh (USD)	Total (USD)
23734	0.08	1898.72

Fuente: Elaborado por el Autor

Debido a que la biomasa no depende de manera directa de factores atmosféricos como otras energías renovables (solar, eólica, mareomotriz). (Grande, 2016). Se considerará la producción de energía eléctrica como constante a lo largo de la vida útil del proyecto.

### **Ingreso por ahorro en fertilizante**

Como se conoció de la encuesta efectuada en la comunidad la mayor parte de los pobladores tienen terrenos con diferentes cultivos, entre ellos: papa, haba, maíz. Consecuentemente invierten en fertilizantes de diferentes orígenes, ya sea orgánico o químico, esto con el fin de mejorar la producción de sus cultivos.

Como se determinó en el apartado 2.4.2 (Determinación del volumen del biodigestor) la disposición de fertilizante orgánico (Biol) que se tendrá a partir del primer mes (tiempo de retención) de digestión es de 1349 litros diarios. Se estableció un promedio de gasto en fertilizante por parte de la comunidad de 960 USD (véase, Tabla 3.6) al año, dinero que puede ser economizado con el uso de los bioles residuales del proceso de digestión anaeróbica de los estiércoles.

TABLA 3.6  
Ingreso por ahorro en fertilizante

Costo promedio	Veces al año	Familias con cultivos	Aproximado total (USD)
20.00	4	12	960.00

### **Ingreso por veta de bonos de carbono (CERs)**

Previo a realizar el análisis de ingreso por venta de bonos de carbono, se realizará una breve explicación sobre en qué consiste el Protocolo de Kioto, el ciclo de un proyecto de Bonos de Carbono, y también se presentará un historial de los precios de los Certificados de Reducción de Emisiones (CERs).

El Protocolo de Kioto es un documento firmado por más de 180 países en la Convención Marco de ONU, este tratado tiene por objetivo la lucha contra el cambio climático. Con la aplicación del Protocolo de Kioto se predecía una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero por parte de países industrializados de al menos un 5.2 % hasta el 2012, después

de su entrada en vigor en el 2005. Los países de vía de desarrollo no están obligados a ninguna reducción, pero si incitados a fortalecer un crecimiento limpio. (Lalvay & Vidal, 2013).

En el Protocolo de Kioto se reconocen a seis gases como los principales causantes del calentamiento global, estos son:

- a) Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )
- b) Metano ( $\text{CH}_4$ )
- c) Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- d) Hidrofluorocarbonos (HFC)
- e) Hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ )

Como se determinó en el apartado 2.3 (Determinación del potencial y composición de biogás) el biogás producido en la comunidad está principalmente formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) en un 55% aproximadamente y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en un 40% aproximadamente. El metano como gas de efecto invernadero es 21 veces más potente que el dióxido de carbono.

Los proyectos que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en países en vías de desarrollo pueden aplicar el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual es una herramienta del Protocolo de Kioto para la venta de CERs a países y empresas industrializados, una CER equivale a una tonelada de  $\text{CO}_2$  que se deja de emitir a la atmósfera.

El ciclo de funcionamiento de un proyecto de Bonos de Carbono (véase, Figura 35) consiste en que un país en desarrollo (ofertante) determine y reporte la cantidad reducción de  $\text{CO}_2$  (en toneladas) a una empresa o país industrializado (demandante) al cual se le acreditarán las reducciones de  $\text{CO}_2$  como si fuesen suyas a cambio el ofertante recibirá fondos económicos para ayudar en los gastos del proyecto. (Lalvay & Vidal, 2013).



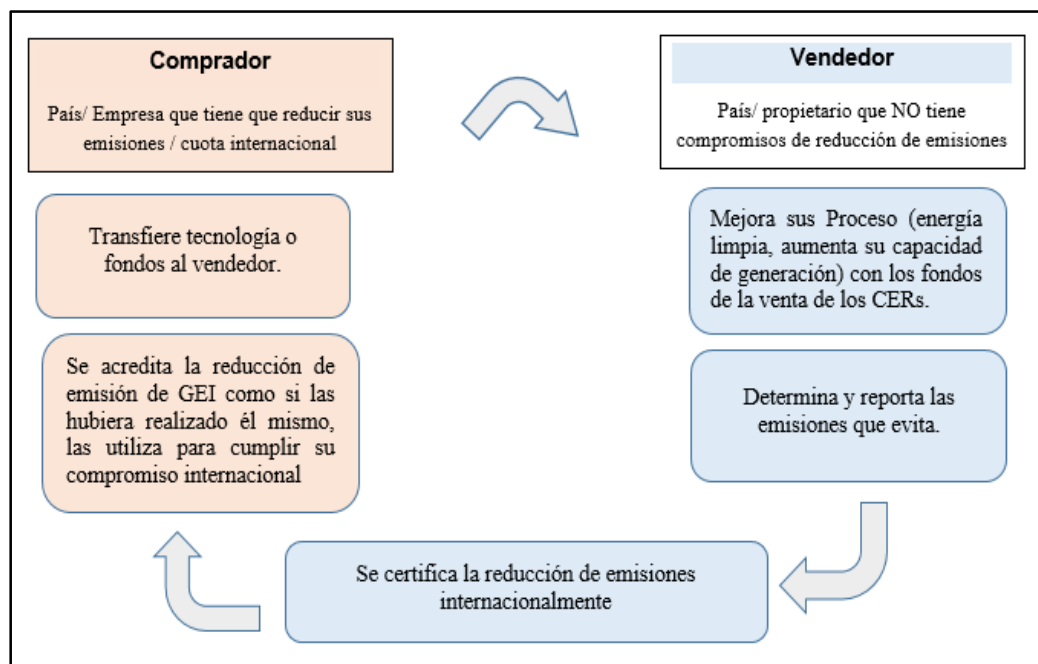


Figura. 36 Funcionamiento de un proyecto de Bonos de Carbono

Fuente: Adaptada de (Lalvay & Vidal, 2013).

Desde la entrada en vigor del Protocolo de Kioto el precio de los CERs ha experimentado y continúa experimentando cambios a lo largo del tiempo. En la Tabla 3.7 se presenta los precios históricos desde el 2017 al 2019 esto con el fin de establecer un promedio del precio de venta de los CERs.

TABLA 3.7  
Histórico de precios de CERs

Mes	Último (€)	Apertura (€)	Máximo (€)	Mínimo (€)	% Variación
Oct 2019	25,60	23,93	24,71	23,38	3,56%
Jun 2019	26,24	23,93	26,63	23,93	7,59%
Ene 2019	22,15	24,55	25,30	21,50	-10,21%
Dic 2018	24,67	20,59	24,65	17,99	20,34%
Nov 2018	20,50	15,80	21,10	15,70	25,31%
Feb 2018	10,10	9,29	10,29	8,62	8,84%
Ene 2018	9,28	8,05	9,56	7,60	13,45%
Dic 2017	8,18	7,64	8,30	6,99	8,49%
Nov 2017	7,54	7,48	7,98	7,26	2,03%
Jun 2017	5,03	4,98	5,28	4,77	1,00%
Ene 2017	5,36	6,48	6,50	4,62	-18,42%
<b>Máximo: 29,85 (€)    Mínimo: 4,29    Diferencia: 25,56 (€)    Promedio: 15,15 (€)</b>					

Fuente: Sistema electrónico de negociación de derechos de emisión de Dióxido de Carbono

Como lo indica la Tabla 3.7 el precio promedio para la compra de CERs es de 15.15 (€) lo cual en la actualidad se traduciría en dólares americanos a 16.77 (USD), este será el precio referencial que se usará para calcular el ingreso por venta de CERs. Para poder calcular la reducción total de emisiones de CO<sub>2</sub> al año se lo utiliza la Ecuación 18.

$$T_{CO_2eq} = EF_{grid} * MWh \quad (18)$$

Dónde:  $T_{CO_2eq}$  → Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> reducidas al año

$EF_{grid}$  → Factor de emisión para el S.N.I Ecuador = 0.6629 tCO<sub>2</sub>/MWh.

MWh → Número de megavatios hora producidos al año

Los resultados se presentan en la Tabla 3.8

TABLA 3.8  
Ingreso por venta de CERs

Energía (MWh) al año	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente al año	Precio por CERs	Total (USD)
23.74	15.73	16.77	263.91

Fuente: Elaborado por el Autor

Una vez calculados todos lo posible ingresos y costos se proceden a realizar la rentabilidad económica del proyecto.

### 3.2 Rentabilidad Económica

En esta sección se realiza el análisis de la rentabilidad económica del proyecto, se busca conocer si es conveniente desde el punto de vista económico ejecutar el proyecto o por el contrario la ejecución del proyecto generará una perdida al inversor. Para ello se trabajará con indicadores que consideran el valor del dinero en el tiempo como son el VAN, el TIR y el B/C, según la metodología de propuesta por Baca (2013).

#### 3.2.1 Indicador VAN

Para calcular el VAN del proyecto se utilizará el flujo de caja determina anteriormente, es decir los ingresos y egresos de cada periodo (año) de vida útil del proyecto. Para calcular el VAN se empleó la Ecuación 19, propuesta por (Baca, 2013). Donde además se consideró una tasa de descuento del 8.42% referenciada por el Banco Central del Ecuador para este año.

Los flujos de caja por periodo se presentan en la Tabla 3.9 conjuntamente con los resultados de VAN y TIR.

$$VAN = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} \quad (19)$$

Donde:  $B_t$  → Beneficio anual del proyecto

$C_t$  → Costo anual del proyecto

$(1+r)^{-t}$  → Factor de actualización

$T$  → Número de años de vida útil del proyecto

$t$  → Período de capitalización (tiempo)

Criterios:

Si  $VAN > 0$  El proyecto generará ganancia económica.

Si  $VAN = 0$  El proyecto no generará ganancia ni pérdida económica.

Si  $VAN < 0$  El proyecto generará una pérdida económica.

### 3.2.2 Indicador TIR

La tasa interna de retorno mide la rentabilidad promedio que tendrá un proyecto, la TIR del proyecto puede ser determinada mediante el uso de la Ecuación (20) propuesta por (Baca, 2013). Los flujos de caja por periodo se presentan en la Tabla 3.9 conjuntamente con los resultados de VAN y TIR.

$$TIR = \sum_{t=1}^T B_t (1+r)^{-t} - \sum_{t=1}^T C_t (1+r)^{-t} = 0 \quad (20)$$

Dónde:  $B_t$  → Beneficio anual del proyecto

$C_t$  → Costo anual del proyecto

$(1+r)^{-t}$  → Factor de actualización

$T$  → Número de años de vida útil del proyecto

$t$  → Período de capitalización (tiempo)

Criterios:

Si  $TIR \geq$  Tasa de descuento (8.42%). El proyecto generará ganancia económica.

Si  $TIR < 0$  Tasa de descuento (8.42%). El proyecto generará una pérdida económica.

Aplicando las Ecuaciones 19 y 20 se obtuvieron los valores de VAN y TIR presentados en la Tabla 3.9, conjuntamente se señalan los flujos de caja.

TABLA 3.9  
Flujos de caja, VAN y TIR

AÑO	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo neto	Tasa de interes
0		21,379.40		8.42%
1	3,122.64	420	2,702.64	
2	3,117.02	420	2,697.02	
3	3,122.64	420	2,702.64	
4	3,117.02	420	2,697.02	
5	3,122.64	420	2,702.64	
6	3,117.02	420	2,697.02	
7	3,122.64	420	2,702.64	
8	3,117.02	420	2,697.02	
9	3,122.64	420	2,702.64	
10	3,117.02	1193	1,924.02	
11	3,122.64	420	2,702.64	
12	3,117.02	420	2,697.02	
13	3,122.64	420	2,702.64	
14	3,117.02	420	2,697.02	
15	3,122.64	420	2,702.64	
16	3,117.02	420	2,697.02	
17	3,122.64	420	2,702.64	
18	3,117.02	420	2,697.02	
19	3,122.64	420	2,702.64	
20	3,117.02	420	2,697.02	
VAN	4,013.16			
TIR	11%			

Fuente: Elaborado por el Autor

Como lo indica la Tabla 3.9 el VAN es mayor que cero por lo cual se deduce que la inversión generará ganancias a lo largo del tiempo. TIR mayor que la tasa de descuento denota que es factible ejecutar el proyecto. Nótese que se considera en el periodo o año 10 el gasto por remplazo de la instalación productora de biogás, debido a que se da por cumplida la vida útil de la geomembrana.

### 3.2.3 Relación beneficio costo (B/C)

La relación beneficio costo es un indicador financiero el cual permite conocer la factibilidad de un proyecto. A diferencia del VAN que expresa los resultados en valores absolutos el B/C expresa los resultados de la factibilidad en términos relativos. (Sánchez & García, 2014).

$$R_{B/C} = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (21)$$

Dónde:  $B_j$  → Flujo neto positivo en el período  $j$

$C_j$  → Flujo neto negativo en el período  $j$

$i$  → Tasa de descuento

$n$  → Horizonte de evaluación

Criterios:

Si  $B/C > 1$  la inversión generará ganancias económicas

SI  $B/C = 1$  la inversión no generará ni ganancias ni pérdidas económicas

Si  $B/C < 1$  la inversión producirá pérdidas económicas

Aplicando la Ecuación 21 se obtienen los resultados presentados en la Tabla 3.10.

TABLA 3.10  
Resultados B/C

Descripción	Cantidad (USD)
Suma ingresos	\$29,697.88
Suma egresos	\$4,342.28
Costos + Inversión	\$25,721.68
<b>B/C</b>	<b>1.154585434</b>

Fuente: Elaborado por el Autor

Como lo indica la Tabla 3.10 la relación B/C generará ganancias a lo largo de la vida útil del proyecto, de manera más concreta generará 0.15 centavos por cada dólar invertido. En la Figura 37 se presenta el diagrama del periodo en que se recuperará la inversión.

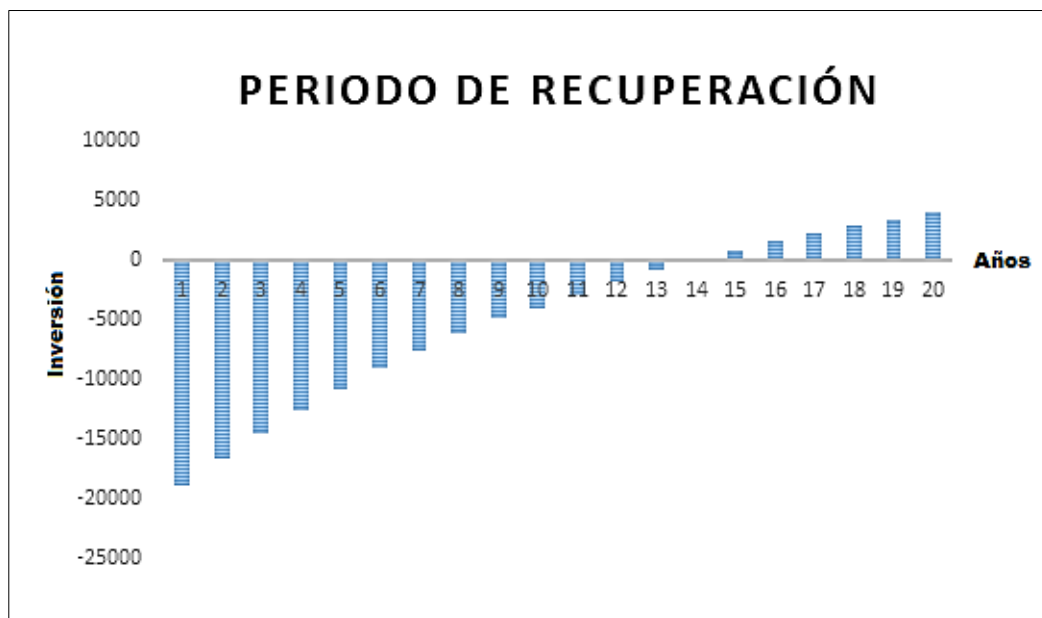


Figura. 37 Periodo de recuperación de la inversión  
Fuente: Elaborada por el Autor

Como lo señala la Figura 37 el periodo en que se recupera la inversión es en el año 14, a partir del cual la inversión genera utilidades.

### 3.4 Beneficios sociales, ambientales y tecnológicos

Más allá de los beneficios económicos que la ejecución del proyecto pueda generar existen beneficios que aportan directamente a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad, estos beneficios no se pueden medir de manera cuantitativa.

#### 3.4.1 Beneficios sociales

Los beneficios sociales son aquellos que no están ligados de manera directa al dinero, la finalidad de estos es mejorar la calidad de vida de las personas. (Sánchez & García, 2014). Los principales beneficios sociales que contempla la ejecución del presente proyecto son:

- a) Eliminación de fuentes patógenas que representan un riesgo para la salud de las personas.
- b) Disposición de un mecanismo de desarrollo sustentable para las actividades de agropecuaria, mismas a las que la mayor parte de la comunidad se dedica.
- c) Satisfacer la necesidad energética de agua caliente y calefacción de la comunidad sin poner en riesgo la salud y calidad de vida de las personas.
- d) Producción de fuentes de empleo y generación de posibles ingresos a partir de un desecho.

### **3.4.2 Beneficios Tecnológicos y Ambientales**

Los beneficios tecnológicos y ambientales que permitiría la ejecución del proyecto son los siguientes:

- a) La producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales.
- b) El aprovechamiento energético de residuos agropecuarios, como son los estiércoles y purines.
- c) Contribuir a la diversificación de la matriz energética del país y del sector.
- d) Reducción de gases de efecto invernadero  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  que se liberan al medio ambiente.
- e) Producción de biofertilizantes ricos en nutrientes para las plantas, más fácilmente asimilables y con una reducción en la emanación de olores de un 90%.
- f) Reducción de la dependencia de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica.

## Conclusiones

- La digestión anaeróbica de residuos agropecuarios como son los estiércoles de animales es una tecnología que permite obtener un aprovechamiento de estos desperdicios, el cual se centra principalmente en la obtención de biogás y biofertilizante. Esto se logra mediante la descomposición de estos desperdicios en un biodigestor, este proceso se lleva a cabo bajo condiciones anaerobias es decir sin presencia de oxígeno. El biogás obtenido de este proceso y después de ser filtrado de otros gases puede ser empleado para la producción de energía eléctrica en generadores o grupos electrógenos.
- Mediante la encuesta efectuada en la comunidad de Yuracucito se conoció que el 92% de la población posee algún tipo de ganado, los animales que se reportaron en mayor cantidad fueron las vacas y los cerdos. Se determinó que se puede obtener 674.5 kg de estiércol al día, para realizar la digestión anaeróbica de estos desechos, se optó por un biodigestor de tipo tubular o salchicha. Se determinó un volumen del biodigestor de 54 m<sup>3</sup>. Producto de la caracterización de los recursos biomásicos (estiércol bovino y porcino) disponibles en la comunidad de Yuracucito se conoció que la cantidad de biogás que se podría obtener al día es de 110.4 m<sup>3</sup>/día, con una composición de 55.4% metano (CH<sub>4</sub>) y 37.8% dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalente a un poder calorífico de 5.23 kWh/m<sup>3</sup>. Biogás que por las características antes mencionadas puede ser empleado para la producción de energía eléctrica en un generador de 25 kW, produciendo un estimado de energía eléctrica anual de 23734 kWh energía que puede ser empleada por la comunidad para satisfacer las demandas energéticas que actualmente no lo realizan con energía eléctrica.
- Efectuando el análisis económico que conllevaría la implementación de la planta de generación eléctrica a partir de biogás se concluye que desde el punto de vista económico es factible la ejecución del proyecto, puesto que el VAN es positivo, el TIR es mayor que la tasa de descuento y la relación beneficio costo (B/C) es mayor que uno. Se denota que los principales beneficios son intangibles y contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.



## Recomendaciones

- Se recomienda continuar con los estudios sobre el aprovechamiento energético que se puede brindar a los desechos agropecuarios, para aportar al desarrollo científico y tecnológico de la Universidad Técnica del Norte y del país.
- Realizar capacitaciones a las comunidades de zonas rurales de la provincia y del país sobre tecnologías para el aprovechamiento energético de residuos agropecuarios, así como también del uso de biofertilizantes para los procesos de agricultura.
- Efectuar estudios de índole similar en comunidades y granjas que cuenten con recursos biomásicos para la producción de energía eléctrica descentralizada y autoconsumo de las mismas, para de esta manera diversificar la matriz de producción eléctrica en el país.
- Realizar reformas al marco legal ecuatoriano contemplando incentivos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables no convencionales. Entre estos incentivos se deberá considerar la eliminación o reducción de aranceles en la importación de equipos y facilidad para la interconexión a las redes de distribución.
- Proponer una metodología que contemple la administración de la planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás en Yuracucito.
- Incorporar al laboratorio de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica del Norte un prototipo de biodigestor donde se pueda efectuar pruebas y prácticas del aprovechamiento energético del biogás.

## Referencias

- Agencia de Regulación y Control de la Electricidad. (Marzo de 2019). Balance Nacional de Energía Eléctrica. Obtenido de Balance Nacional de Energía Eléctrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- Aqualimpia Engineering e.K. (23 de Julio de 2019). Generadores a biogás y gas natural. Obtenido de Generadores a biogás y gas natural: <https://www.aqualimpia.com/generadores-biogas/>
- Arias, F. J. (2019). Potencial energético del biogás de la co-digestión del suero lácteo y estiércol bovino. Tesis de pregrado. Universidad De Las Américas, Quito.
- Aristizábal, B., Vanegas, E., Mariscal, J. P., & Camargo, M. (2015). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, 29 - 36.
- Armas, A. (2017). Determinación del potencial energético de la biomasa residual de guayaba (*Psidium guajava* L.) en Rocafurte cantón Ibarra Provincia de Imbabura. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Arrieta, W. P. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Tesis de pregrado. Universidad de Piura, Piura.
- Baca, G. (2013). Evaluación de proyectos. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Badii, Guillen, & Abreu. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 141-155.
- Banco Mundial. (2019). Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total). Obtenido de Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total): <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?view=chart>
- Blanco, G., Santalla, E., Córdova, V., & Levy, A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico. Banco Interamericano de Desarrollo - División de Energía.
- Calderón, C. (2015). Diseño de un biodigestor tubular para obtener biogás a partir de residuos orgánicos del ganado vacuno generados en la hacienda Santa Mónica "Guamote". Tesis Pregado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

- Camacho, R., Villada, H., & Hoyos, J. (2016). Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos. *Información Tecnológica*, 29-36.
- Cano, M., Benner, A., Silva, E., Robles, S., Sainos, U., & Castorena, H. (2016). Caracterización de Bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Instituto Tecnológico del Altiplano*, 471-479.
- Cárdenas, M., Parra, B. A., Torres, P., & Vásquez, C. (2016). Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano - PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *ION*, 95-108.
- Chorkulak, V. (2016). Análisis de la capacidad de generación de biogás en Argentina a partir de residuos orgánicos producidos en granjas con sistemas de confinamiento. Tesis de postgrado. Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Correa, P., Dargel, G., & Pacheco, J. (2016). Energías renovables y medio ambiente. Su regulación jurídica en Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 179 -183.
- Ecobiogás SL. (26 de Junio de 2019). Biogás. Obtenido de Biogás: [http://www.ecobiogas.es/archivos/es/biogas\\_biogasienergia.php](http://www.ecobiogas.es/archivos/es/biogas_biogasienergia.php)
- EL COMERCIO. (8 de Octubre de 2015). La media diaria de consumo de agua en Quito subió 20 litros. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/media-diaria-consumo-agua-subio>.
- Fernández, G. J., Gutierrez, F. M., Del Rio, P. G., Alfaro, G., Bahillo, A. R., Sanchez, J. M., . . . Aracil, J. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Forget, A. (2011). *Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares*. Lima.
- GAD Provincial de Imbabura. (2015). *Declaratoria ambiental para el proyecto: estudios de factibilidad, impactos ambientales e ingeniería definitivos de la vía que une las poblaciones de Aloburo – Chilcapamba – Yuracruz alto – Yuracruz – y de Cruzcunga*. Ibarra: Asociación Vial .
- General Electric. (10 de Julio de 2019). Turbinas de gás aeroderivativas y pesadas . Obtenido de Turbinas de gás aeroderivativas y pesadas : <https://www.ge.com/power/gas/gas-turbines?cont=recip>

- Godoy, M., Silva, M. F., & Palacios, J. (2018). La producción de biogás por degradación de abono orgánico como alternativa de energía en Ecuador. *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 2-14.
- González, M., Pérez, S., Wong, A., Bello, R., & Yañez, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la. *Revista Argentina de microbiología*, 229-235.
- Grande, C. (2016). *Residuos agroindustriales biocombustibles*. Cali: Editorial Bonaventuriana.
- Gutiérrez, A., Bustillos, L., & Hernani, J. (2018). Obtención de biogás mediante la fermentación anaerobia de estiércol. *Revista Estudiantil AGRO – VET*, 185-191.
- Íñigo, L. I. (2014). Estudio de viabilidad de un sistema de generación de energía eléctrica empleando biogás como combustible en el matadero municipal de Cochapamba (Bolivia). Tesis Pregrado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Bolivia.
- IRENA. (2016). Measuring small-scale biogas capacity and production. International Renewable Energy Agency (IRENA), 1-30.
- Mago, M. G., Sosa, J. L., Flores, B., & Tovar, L. (2014). Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor©. *INGENIERÍA UC*, vol. 21, 60-65.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Elsevier*, 541- 544.
- Mitsubishi. (22 de Julio de 2019). Turbinas de gas. Obtenido de Turbinas de gas: <https://media.gettyimages.com/photos/an-employee-walks-near-a-gas-fired-turbine-manufactured-by-mitsubishi-picture-id453938468>
- Morales, C., Rivadeneira, B., & García, S. (2018). Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *ESPAMCIENCIA*, 23-32.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). Análisis Especial de Balance. Colección de documentos técnicos.
- Ortíz, J. (2017). Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani - Departamento del Puno. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Puno.

- Peña, J., Paula Martínez, M. C., Chirivi, N., & Mendoza, L. (2017). Uso energético de la biomasa a través del proceso de gasificación . Revista de Investigación - Fundación Universidad de América, 165-181.
- Poggio, D. (2007). Diseño y construcción de dos biodigestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano.
- Ramos, A. D., Terry, E. A., Soto, C. F., & Cabrera, R. J. (2014). Bocashi: Abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Boca del Toro, Panamá. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas- Cultivos Agrícolas, 90-97.
- Rentería, V., Toledo, E., Bravo, D., & Ochoa, D. (2016). Relación entre Emisiones Contaminantes, Crecimiento Económico y Consumo de Energía. El caso de Ecuador 1971-2010. Revista Politécnica, 1-7.
- Saavedra, R., Alamo, M. A., & Aldana, M. D. (2017). Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región de Piura. XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, 13-17.
- Sánchez, A., & García, V. (2014). Evaluación de la prefactibilidad de un sistema de generación eléctrica a partir de biogás con estiércol de ganado vacuno o porcino en Cundinamarca. Revista Tekhnê. Vol. 11., 37–50.
- Sánchez, L., Laines, J., Sosa, J., & Montero, S. (2015). Determinación teórica del potencial de generación de biogás en una granja lechera, Tabasco, México.
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. Renewable Energy, 457- 472.
- Solé, A. C. (2014). Energías Renovables. Murcia: Ediciones de la U.
- Souza, J., & Schaeffer, L. (2013). Sistema de Compresión de Biogás y Biometano. Información Tecnológica. Vol. 24, 3-8.
- Stronguilo, M., & Chacón, L. (2015). Caracterización de biomasa residual de la región Arequipa para la producción de biocombustibles. Enfoque UTE, 42-54.
- Varnero, M. M. (2011). Manual del Biogás. Ministerio de Energía de Chile, 33 - 44.
- Venegas, J. A., Aryal, D. R., & Ruíz, R. P. (2019). Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas. Análisis Económico, vol. XXXIV, 169-187.

- Venegas, J. A., García, A. E., Fernández, A. P., Suárez, J. A., & Castro, G. S. (2017). Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, p. 735-740.
- Vera, I., Martínez, J., Estrada, M., & Ortíz, A. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica parte I: excretas de ganado vacuno y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 429 - 436.
- Vera, I., Matínez, J., Estrada, M., & Ortíz, A. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 471-478.
- Villanueva, J. A., Nájera, H. A., Gómez, J. M., Hernández, T. G., & Velasco, A. F. (2011). Generación, caracterización y uso del biogás, producto de la digestión anaerobia de las excretas de ganado bovino. *LACANDONIA*, 149-158.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Elsevier*, 383-390.
- Zheng, Y., Zhao, J., Xu, F., & Li, Y. (2014). Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas. *Department of Food, Agricultural and Biological Engineering*, 35-53.

# Anexos

## ANEXO A: Modelo de encuesta efectuada en Yuracucito

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</b> FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA EN ELECTRICIDAD</p>	
<p>Encuesta</p>		
<p><b>Objetivo:</b></p>		
<p>Recopilar información sobre la cantidad de desechos orgánicos que se producen en la comunidad de Yuracucito, mismos que podrían servir como materia prima para la obtención de biogás que alimente una planta de generación eléctrica.</p>		
<p>Fecha: 06/07/19</p>		
<p>N° de casa: 5</p>		
<p>Material principal de construcción de la vivienda: Bloque, Teja.</p>		
<p>Miembros de la familia: 5 (2A; 2AM; 2mujos)</p>		
<p><b>1) ¿Es consiente usted del impacto que genera la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos y agropecuarios al medio ambiente?</b></p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No</p>		
<p><b>2) ¿Dónde deposita los residuos sólidos urbanos generados en su vivienda y con qué frecuencia?</b></p>		
<p>Contenedores Terreno Quema Enterrar</p>		
<p>Otros (especifique) ..... Bndas cada 15 días al recolector</p>		
<p><b>3) ¿Conoce usted métodos de eliminación y clasificación de residuos sólidos urbanos?</b></p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Si (cuál) ..... Cbñico residuos orgánicos, los usa en llanos (ferenos)</p>		
<p>No. ¿Le interesaría aprender?.....</p>		
<p><b>4) ¿Posee usted terrenos cultivables en la comunidad?</b></p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Si (especifique)</p>		
<p>m<sup>2</sup>: 172 m<sup>2</sup> Tipo de plantación: meloco Tipo de abono utilizado: abímico, orgánico sin tratamiento</p>		
<p>No</p>		
<p><b>5) Responda las siguientes preguntas sobre la comunidad.</b></p>		
<p>¿Cómo están organizados formalmente?..... Comunidad</p>		
<p>¿Disponen de fondo económico o presupuesto y de dónde proviene?..... No</p>		
<p>¿Tienen un archivo que documente las reuniones?..... desconoce</p>		
<p>¿Han trabajado en otros proyectos, de qué índole y cómo calificaría su resultado?..... No</p>		

6) ¿Qué acciones realiza con los rastrojos de los cultivos y con qué frecuencia?

pica y deja como abono

7) ¿Posee usted algún tipo ganado?

Si (especifique)

Tipo de ganado	Tamaño (acorde a la edad)	Cantidad
Vacuno	Pequeño	2
	Mediano	2
	Grande	8
Porcino	Pequeño	
	Mediano	
	Grande	
Otro:	15 Pollos	15

No

8) ¿Qué tiempo de permanencia en el corral tiene el ganado?

Tenemos - libras día (noche, guarda) (2 h); (Pollos pasan en el terreno) (24 h)

9) ¿Qué cantidad aproximada de residuos orgánicos se genera en su hogar?

semana balde de 20, (4 baldes por semana)

10) ¿Qué tipo de electrodomésticos tiene en su hogar y con qué fin?

Electrodomésticos	Cantidad	Uso o Fin	Fuente de alimentación
Cocina	↓	Cocción de Alimentos	GLP
Ducha eléctrica	↓	Confort	eléctrica
Calefón	-		
Calefactor	↓	Calefacción	Leña
Nevera	↓	Consu. Alimentos	Eléctrica
Microondas	↓	Preparación Alim.	Eléctrica
Horno	-		
lavadora	↓	comodidad	eléctrica
Televisión	3	entretenimiento	Eléctrica
Aire acondicionado	-		
Computadora	-		
Equipo de música	↓	entretenimiento	Eléctrica
Licuada	↓	Preparación - Alim.	Eléctrica
Focos	si Varios (9)	Iluminación	eléctrica

11) ¿Cuál es el consumo promedio de energía eléctrica de su vivienda?

o 12 a 4  
15 aprox.

12) ¿Actualmente brinda algún tipo de aprovechamiento a los desechos orgánicos que se generan en su vivienda o establos?

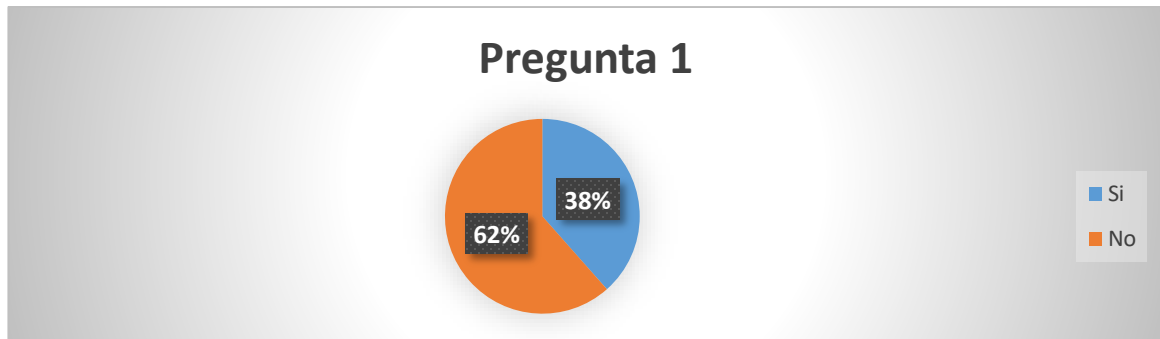
Si (especifique): Si... abono directo en los terrenos.....  
No (como maneja sus residuos).....



## ANEXO B: Tabulación de resultados

### Tabulación de resultados de encuesta en Yuracrucito

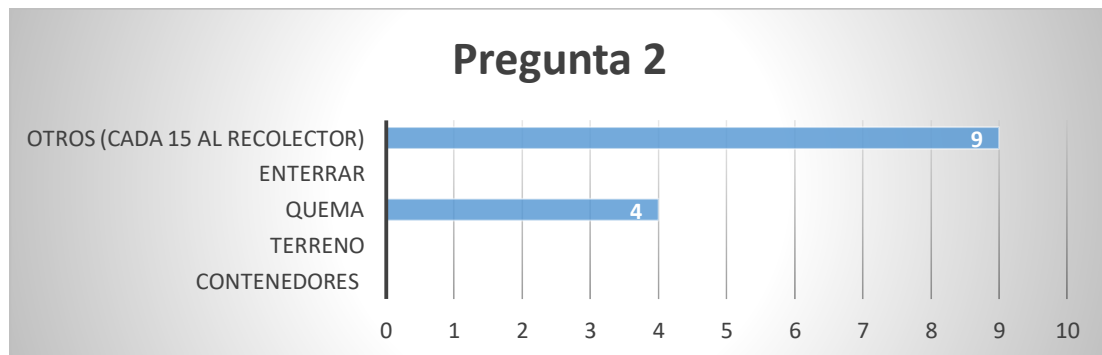
1) ¿Es consiente usted del impacto que genera la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos y agropecuarios al medio ambiente?



Fuente: Elaborado por el Autor

Los resultados de la pregunta denotan que la mayor parte de la población encuestada es consiente que el manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos y agropecuarios producen un impacto negativo en el medio ambiente.

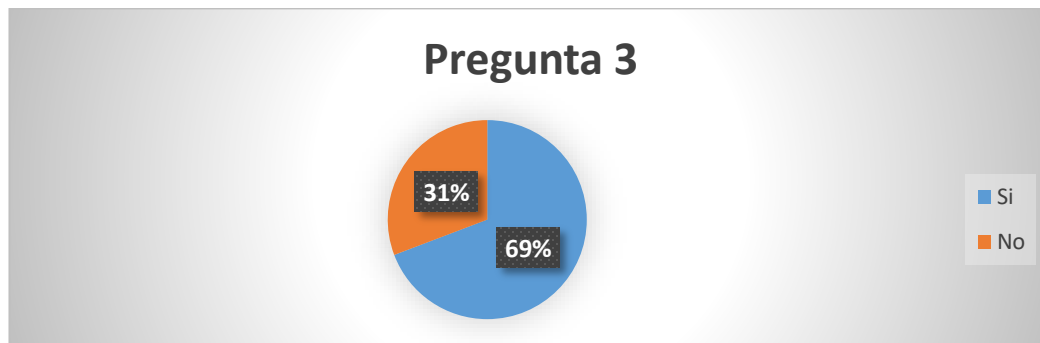
2) ¿Dónde deposita los residuos sólidos urbanos generados en su vivienda y con qué frecuencia?



Fuente: Elaborado por el Autor

Los resultados indican que 9 de las 13 viviendas encuestadas depositan los desechos de su hogar en fundas plásticas y los sacan al recolector municipal, mismo que pasa con una frecuencia de 15 días.

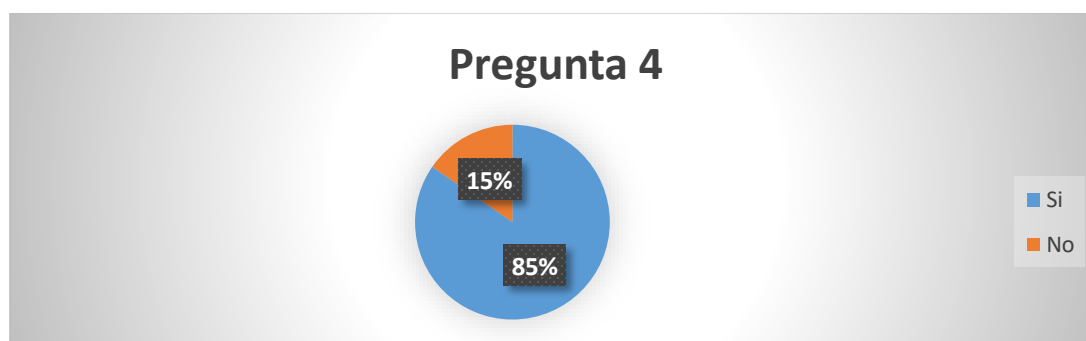
**3) ¿Conoce usted métodos de eliminación y clasificación de residuos sólidos urbanos?**



Fuente: Elaborado por el Autor

Los resultados de la pregunta 3 indican que el 69% de las viviendas encuestadas si conocen de métodos de clasificación de los residuos sólidos, el cual consiste en la separación de los desechos orgánicos de los desechos no orgánicos.

**4) ¿Posee usted terrenos cultivables en la comunidad?**



Fuente: Elaborado por el Autor

Los resultados de la pregunta 4 denotan que el 85% de la población encuestada poseen terrenos cultivables en la comunidad, en donde las plantaciones más predominantes son maíz, melloco, papa, haba y tomate. La mayor parte de comuneros usa fertilizantes químicos y orgánicos (sin tratamiento previo).

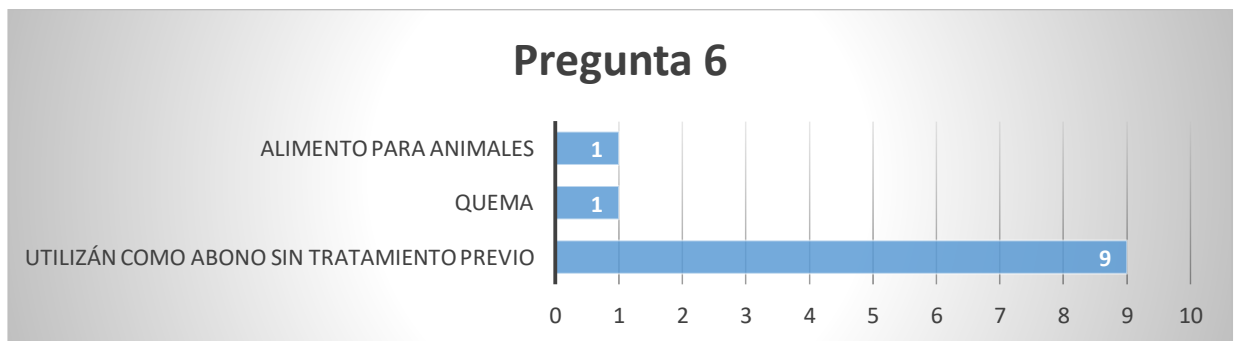
**5) Responda las siguientes preguntas sobre la comunidad**

¿Cómo están organizados formalmente?	
Comunidad	13
¿Disponen de fondo económico o presupuesto y de dónde proviene?	
No	11
Desconoce	1
Si	1
¿Tienen un archivo que documente las reuniones?	
Si	1
No	12
¿Han trabajado en proyectos similares?	
Si	2
No	11

Fuente: Elaborado por el Autor

Como los señala la pregunta 5 en la comunidad no se maneja archivos que documenten sus reuniones, y no cuentan con un fondo común.

**6) ¿Qué acciones realiza con los rastrojos de los cultivos y con qué frecuencia?**



La pregunta 6 refleja que 9 de las 13 viviendas encuestadas utilizan los residuos de sus cosechas como abono para las mismas, dejándolos en los huertos sin un tratamiento adicional, la frecuencia varía dependiendo del cultivo oscilando entre 2 y 4 meses.

**7) ¿Posee usted algún tipo ganado?**



Fuente: Elaborado por el Autor

Como lo señala la tabulación de resultados de la pregunta 7 el 92% de viviendas de la comunidad poseen animales o ganado.

Vacuno	
Grande	26
Mediano	19
Pequeño	16
Porcino	
Grande	14
Mediano	0
Pequeño	18
Otros	
Pollos	100
Cuyes	89
Ovejas	2

Fuente: Elaborado por el Autor

Según Vera (2013), es posible estimar la cantidad de producción de estiércol por animal de acuerdo a la edad puesto que de esto dependerá su tamaño, propone para un tiempo de estación en el corral de ganado vacuno de 12h y porcino 24h:

Cantidad de estiércol producida por animal de acuerdo a la edad (Kg/día)	
Vacuno	
Vacas Grandes	13.2
Vacas Medianas	8.8
Vacas pequeñas	7.04
Porcino	
Cerdos Grandes	2.3
Cerdos Medianos	1.8
Cerdos Pequeños	1.07

La mayor parte de la población si tiene ganado, entre los principales animales que las familias tienen están vacas, cerdos, pollos, cuyes y en menor proporción ovejas. Se cuantificó la cantidad de estiércol producida por el ganado en 3 viviendas, los resultados variaron con lo publicado por Vera (2013) en: ganado vacuno -1.8 Kg y ganado porcino -0.5Kg, se denota que la diferencia no es significativa.

**8) ¿Qué tiempo de permanencia en el corral tiene el ganado?**

Ganado	Tiempo de permanencia en el corral
Vacuno	12 h
Porcino	24 h
Pollos	24 h
Cuyes	24 h
Ovejas	12 h

El ganado vacuno tiene mayormente una permanencia de 12 h en el corral y el ganado porcino 24 horas.

Cantidad total de estiércol generado por tipo de ganado al día (Kg/día)		
Ganado vacuno		
Vacas grandes	26 * 13.2	343.2
Vacas medianas	19 * 8.8	167.2
Vacas pequeñas	16 * 7.04	112.64
Total		623.04
Ganado porcino		
Cerdos grandes	14 * 2.3	32.2
Cerdos pequeños	18 * 1.07	19.26
Total		51.46

Fuente: Elaborado por el Autor

**9) ¿Qué cantidad aproximada de residuos orgánicos se genera en su hogar?**

Para la estimación de este valor se cuantificó la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan por miembro en el hogar.

Casa	Cantidad de RSUO generados por día (g/día)
1	265
2	530
3	2385
4	795
5	1325
6	530
7	265
8	530
9	530
10	795
11	1590
12	1590
13	1060
Total	12190

Fuente: Elaborado por el Autor

En promedio se generan alrededor de 12,19 gramos de residuos sólidos al día en la comunidad.

#### 10) ¿Cuáles son sus principales requerimientos energéticos?

Número de casa encuestada	Fuente de energía para calefacción	Fuente de energía para cocción de alimentos	Fuente de energía para agua caliente
1	Leña	GLP	Leña
3	Leña	Electricidad	Leña
5	Leña	GLP	Leña
7	Leña	GLP	Electricidad
11	Leña	GLP	Leña
13	Leña	GLP	Leña
Promedio de consumo por vivienda	Leña	GLP	Leña

Fuente: Elaborado por el Autor

Los requerimientos energéticos que la mayor parte de la comunidad suple con leña son el agua caliente y la calefacción de sus viviendas

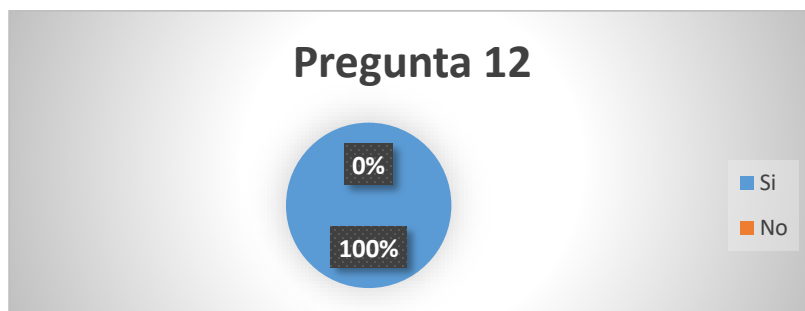
**11) ¿Cuál es el consumo promedio de energía eléctrica de su vivienda?**

Número de casa encuestada	Consumo promedio mensual de energía eléctrica en Kw/h
1	50
2	22
3	116
4	1
5	114
6	39
7	95
8	39
9	101
10	33
11	76
12	216
13	77
Total	979
Promedio de consumo por vivienda	75

Fuente: Elaborado por el Autor

Se solicitó una carta de consumo eléctrico a las viviendas para analizar el consumo de energía de la comuna

**12) ¿Actualmente brinda algún tipo de aprovechamiento a los desechos orgánicos que se generan en su vivienda o establos?**



Fuente: Elaborado por el Autor

El 100% de las viviendas encuestadas utiliza los desechos orgánicos producidos en sus viviendas y establos como fertilizante orgánico sin tratamiento previo.

## ANEXO C: Resultado de ensayos proximal y elemental



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA Y ENERGÉTICA

LABORATORIO DE BIOMASA  
Av. Giovanni Calles s/n y Av. Padre Luis Vaccari


INFORME DE ENSAYOS N° LB-14-2019

<b>SOLICITANTE</b>	Gerardo Collaguazo - UTN	<b>FECHA DE RECEPCIÓN</b>	2019-07-23
		<b>FECHA DE INFORME</b>	2019-07-31
<b>MUESTRA</b>	Estiércol de ganado bovino y porcino	<b>ENVASE</b>	Envase aprox. 20 g
<b>NÚMERO</b>	LB-564, LB-565, LB-566, LB-567, LB-568, LB-569-2019	<b>MUESTREO</b>	Solicitante
<b>ENSAYO REQUERIDO</b>	Análisis proximal, análisis elemental CHNS		
<b>DOCUMENTO</b>	Oficio Nro. OF-SN-UTN-2019		
<b>TÉCNICO ASIGNADO</b>	O. Estévez, C. Méndez		

### RESULTADOS

MATRIZ DE ENSAYO	ENSAYO	MÉTODO	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO
Muestra estiércol vacuno 1 (LB-564-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	5,90
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	53,30
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	40,80
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	38,36
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	2,01
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	5,85
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,25
Muestra estiércol vacuno 2 (LB-565-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	5,06
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	51,26
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	43,69
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	37,52
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	2,10
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	6,05
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,29
Muestra estiércol vacuno 3 (LB-566-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	5,35
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	52,09
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	42,56
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	31,34
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	2,00
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	5,36
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,26
Muestra estiércol porcino 1 (LB-567-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	7,00
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	56,96
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	36,03
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	29,78
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	3,32
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	5,48
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,40
Muestra estiércol porcino 2 (LB-568-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	26,62
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	48,28
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	25,09
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	29,78
	Nitrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	3,03
	Hidrógeno, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	7,65
	Azufre, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	0,34
Muestra estiércol porcino 3 (LB-569-2019)	Humedad, % (p/p)	Método Interno	a	a	23,64
	Sólidos volátiles, % (p/p)	Método Interno	a	a	57,81
	Sólidos fijos, % (p/p)	Método Interno	a	a	18,55
	Carbono, % (p/p)	BS EN 15104:2011	a	a	31,40

Los ensayos fueron realizados en base a la muestras recibidas en el laboratorio y bajo los métodos mencionados.  
a. El método utilizado no presenta valores de mínimo y máximo para estos ensayos.

  
Dany Sinche  
Responsable Laboratorio



  
O. Estévez  
Técnico 3



## ANEXO D: Desarrollo matemático en MatLab

```
%INICIO
clc
clear all
%DATOS
EPD= 51.46; %Total de estiércol producido al día
C= 30.92; %Valor porcentual de carbono en (%p/p)
H= 6.53; %Valor porcentual de hidrógeno en (%p/p)
O= 26.54; %Valor porcentual de oxígeno en (%p/p)
N= 3.18; %Valor porcentual de nitrógeno en (%p/p)
S= 0.33; %Valor porcentual de azufre en (%p/p)
Hum=80; % Porcentaje de humedad
Cnz=3.6; % Porcentaje de ceniza
ST=20; % Porcentaje de sólidos totales
SV=16; % Porcentaje de sólidos volátiles
RTH=30; % Tiempo de retención
T=30; % Temperatura del proceso
pmC= 12.017; % Peso molar del carbono
pmH= 1.007; % Peso molar del hidrógeno
pmO= 15.999; % Peso molar del oxígeno
pmN= 14.0067; % Peso molar del nitrógeno
pmS= 32.065; % Peso molar del azufre
%CONVERSIÓN
% El valor en 100g de muestra corresponde al valor porcentual de p/p
mC= C/pmC;
mH= H/pmH;
mO= O/pmO;
mN= N/pmN;
mS= S/pmS;
%Número de moles por elemento
a= mC;
b= mH;
c= mO;
d= mN;
e= mS;
%FORMULA ESTEQUIOMETRICA
Ct=a;
Ht=b;
Ot=c;
Nt=d;
St=e;
CH4= (a/2)+(b/8)-(c/4)-[(3*d)/8]-(e/4);
CO2= (a/2)-(b/8)+(c/4)+[(3*d)/8]+(e/4);
NH3= d;
H2S= e;
H2O= a-(b/4)-(c/2)+[(3*d)/4]+(e/2);
%PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
% Valores porcentuales de:
sum=CH4+CO2+NH3+H2S;
PorCH4=[ (CH4) / (sum) ]*100
PorCO2=[ (CO2) / (sum) ]*100
PorNH3=[ (NH3) / (sum) ]*100
PorH2S=[ (H2S) / (sum) ]*100
%Potencial teórico bioquímico de metano
TBMP= [22.4*1000*[(a/2)+(b/8)-(c/4)-((3*d)/8)-(e/4)]]/(C+H+O+N+S)
TBMPm3_kg= TBMP/1000 %Potencial de producción bioquímico del metano en m3/kg
```

```

%Cálculo del volumen de CH4
CST= EPD*(ST/100); % Cantidad de sólidos totales en (kg)
CSV= EPD*(SV/100) % Cantidad de sólidos volátiles en (kg)

% Cantidad de sólidos volátiles totales en (kg)
K= 0.6 + 0.0006*exp(0.1185*SV) % constantes en función de SV
U= 0.013 + T*0.129 % constantes en función de T
VCH4= TBMPm3_kg*CSV*[1-(K/(U*(RTH-1+K)))] %Volumen de CH4 al día por total
de estiércol producido
VCH4_kg= VCH4*(1/EPD)

```

Resultados:

CSV =

8.2336

K =

0.6040

U =

3.8830

VCH4 =

4.3343

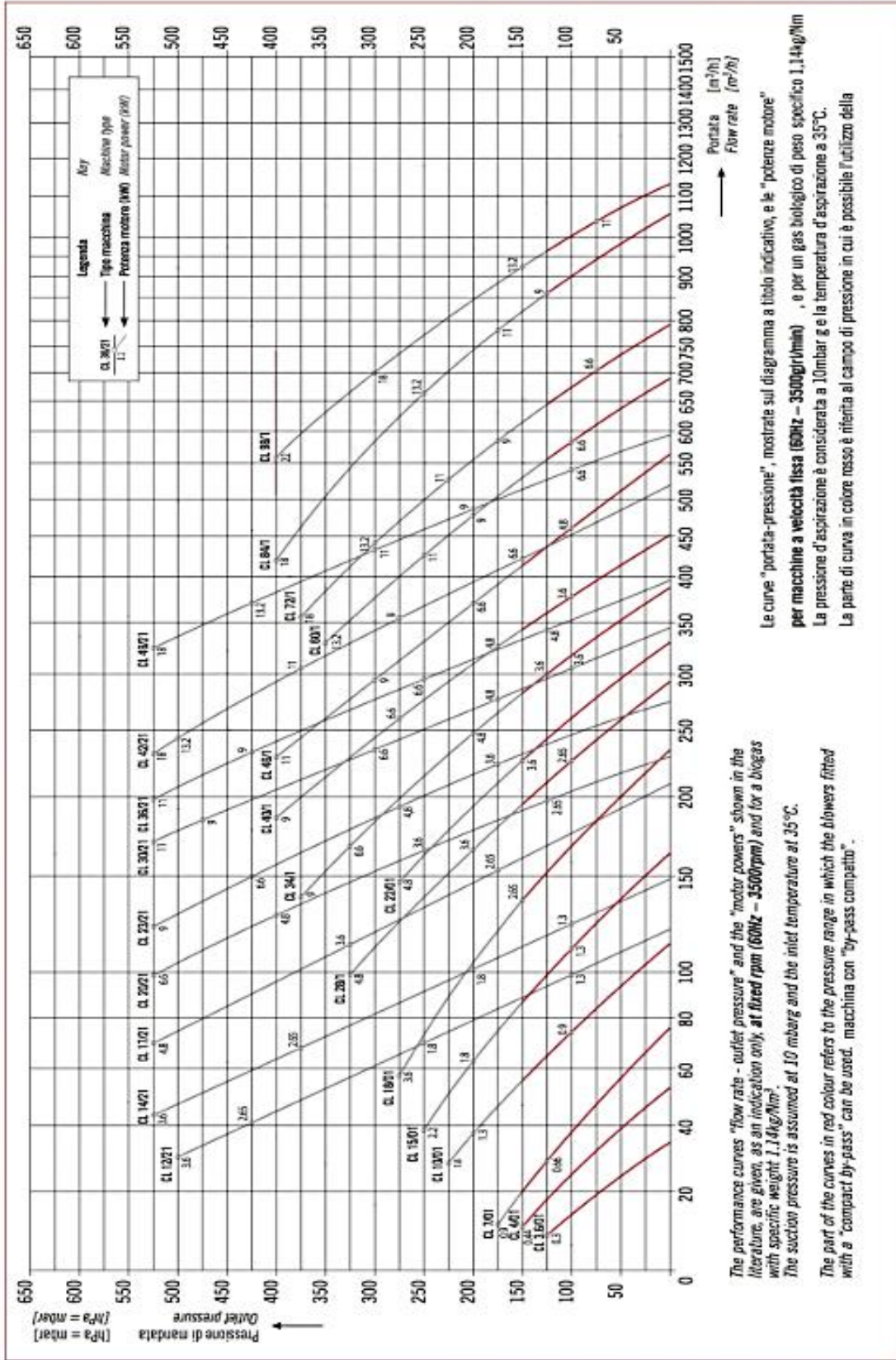
VCH4\_kg =

0.0842

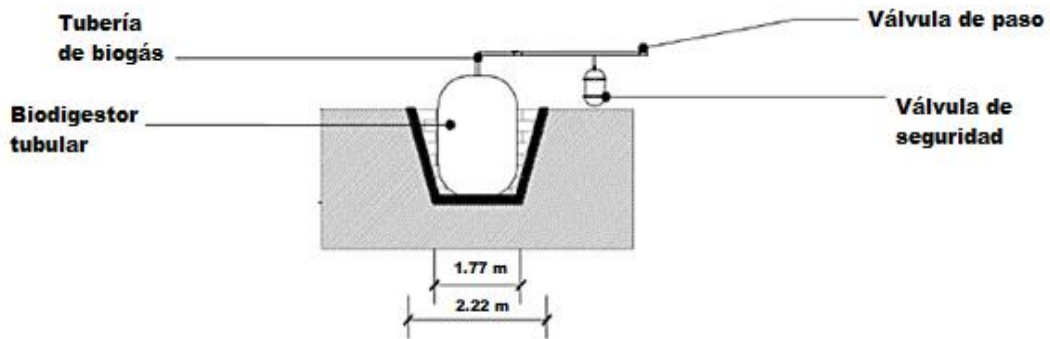
# ANEXO E: Diagrama caudal – presión



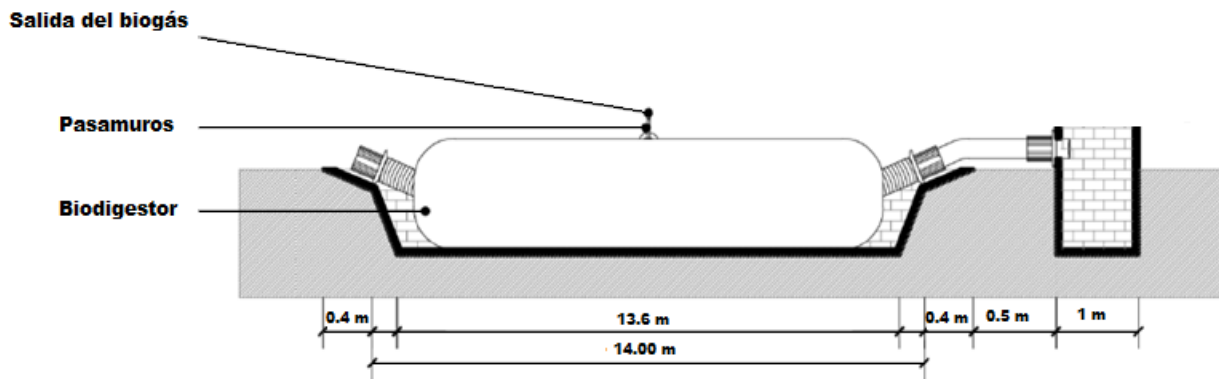
## Side channel blowers for biogas - Performance curves



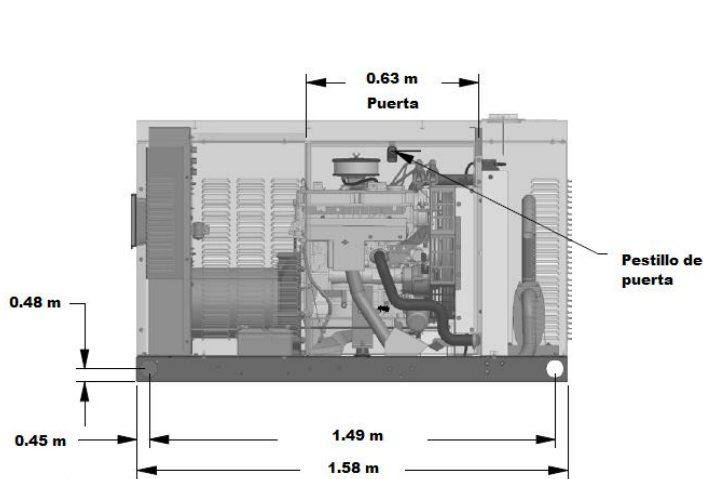
## ANEXO F: VISTAS DEL BIODIGESTOR Y GENERADOR A BIOGÁS



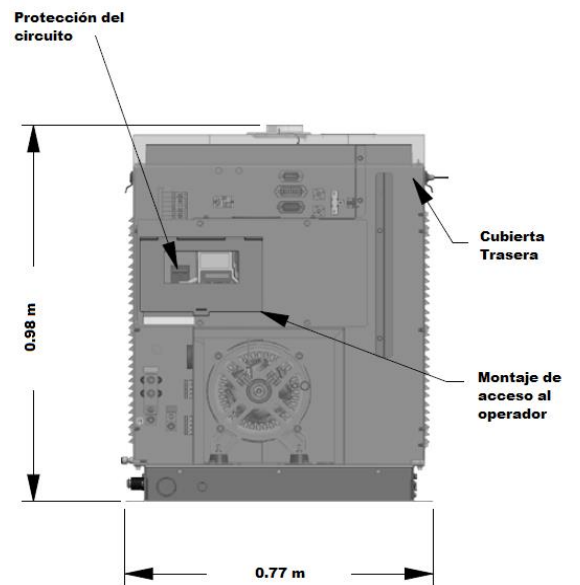
Vista Posterior del biodigestor  
Fuente: Adaptada de (Calderón, 2015)



Vista lateral del biodigestor  
Fuente: Adaptada de (Calderón, 2015)



Vista frontal del generador  
Fuente: Adaptada de (Generac, 2019)



Vista lateral del generador  
Fuente: Adaptada de (Generac, 2019)

## ANEXO G: Hoja de características del generador

### Protector® QS Series

# GENERAC®

## PROTECTOR® QS SERIES Standby Generators Liquid-Cooled Gaseous Engine

Protector® QS Series

1 of 11

#### INCLUDES:

- Two-Line LCD Multilingual Digital Evolution™ Controller (English/Spanish/French/Portuguese) with external viewing window for easy indication of generator status and breaker position.
- True Power™ Electrical Technology
- Isochronous Electronic Governor
- Sound Attenuated Enclosure
- Closed Coolant Recovery System
- Smart Battery Charger
- UV/Ozone Resistant Hoses
- ±1% Voltage Regulation
- Natural Gas or LP Operation
- 5 Year Limited Warranty
- UL 2200 Listed
- Capability to be installed within 18" (457) mm of a building\*

\*Only if located away from doors, windows, and fresh air intake and exhaust openings adjacent to local codes.

#### Standby Power Rating

Model RG022 (Aluminum - Bisque) - 22 kW 60 Hz  
 Model RG027 (Aluminum - Bisque) - 27 kW 60 Hz  
 Model RG032 (Aluminum - Bisque) - 32 kW 60 Hz  
 Model RG038 (Aluminum - Bisque) - 38 kW 60 Hz  
 Model RG048 (Aluminum - Bisque) - 48 kW 60 Hz



**QUIET-TEST™**

Meets EPA Emission Regulations  
 22 & 27 kW are CA/MA emissions compliant  
 32 & 38 kW not for sale in CA / MA

### FEATURES

- **INNOVATIVE DESIGN & PROTOTYPE TESTING** are key components of GENERAC'S success in "IMPROVING POWER BY DESIGN." But it doesn't stop there. Total commitment to component testing, reliability testing, environmental testing, destruction and life testing, plus testing to applicable CSA, NEMA, EGSA, and other standards, allows you to choose GENERAC POWER SYSTEMS with the confidence that these systems will provide superior performance.
- **TEST CRITERIA:**
  - ✓ PROTOTYPE TESTED
  - ✓ SYSTEM TORSIONAL TESTED
  - ✓ NEMA MG1-22 EVALUATION
  - ✓ MOTOR STARTING ABILITY
- **SOLID-STATE, FREQUENCY COMPENSATED VOLTAGE REGULATION.** This state-of-the-art power maximizing regulation system is standard on all Generac models. It provides optimized FAST RESPONSE to changing load conditions and MAXIMUM MOTOR STARTING CAPABILITY by electronically torque-matching the surge loads to the engine. Digital voltage regulation at ±1%.
- **SINGLE SOURCE SERVICE RESPONSE** from Generac's extensive dealer network provides parts and service know-how for the entire unit, from the engine to the smallest electronic component.
- **GENERAC TRANSFER SWITCHES.** Long life and reliability are synonymous with GENERAC POWER SYSTEMS. One reason for this confidence is that the GENERAC product line includes its own transfer systems and controls for total system compatibility.

# GENERAC®



22 • 27 • 32 • 38 • 48 kW

GENERATOR OUTPUT VOLTAGE/kW - 60 Hz

		kW LPG	Amp LPG	kW Nat. Gas	Amp Nat. Gas	CB Size (Both)
RG022	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	22	92	22	92	100
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	22	76	22	76	80
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	22	66	22	66	80
RG027	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	27	113	25	104	125
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	27	94	25	87	100
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	27	81	25	75	90
RG032	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	32	133	32	133	150
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	32	111	32	111	125
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	32	96	32	96	100
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	32	48	32	48	60
RG038	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	38	158	38	158	175
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	38	132	38	132	150
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	38	114	38	114	125
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	38	57	38	57	60
RG048	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	48	200	48	200	200
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	48	167	48	167	175
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	48	144	48	144	150
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	48	72	48	72	80

SURGE CAPACITY IN AMPS

		Voltage Dip @ < .4 pf	
		15%	30%
RG022	120/240 V, 1Ø	55	135
	120/208 V, 3Ø	40	92
	120/240 V, 3Ø	35	80
RG027	120/240 V, 1Ø	62	170
	120/208 V, 3Ø	70	120
	120/240 V, 3Ø	61	103
RG032	120/240 V, 1Ø	75	180
	120/208 V, 3Ø	87	210
	120/240 V, 3Ø	75	182
	277/480 V, 3Ø	36	87
RG038	120/240 V, 1Ø	75	180
	120/208 V, 3Ø	87	210
	120/240 V, 3Ø	75	182
	277/480 V, 3Ø	36	87
RG048	120/240 V, 1Ø	85	195
	120/208 V, 3Ø	90	218
	120/240 V, 3Ø	78	189
	277/480 V, 3Ø	36	87

ENGINE FUEL CONSUMPTION

		Natural Gas		Propane		
		(ft <sup>3</sup> /hr)	(m <sup>3</sup> /hr)	(gal/hr)	(l/hr)	(ft <sup>3</sup> /hr)
RG022	Exercise cycle	42	1.2	0.44	1.7	16
	25% of rated load	100	2.8	1.1	4.2	40
	50% of rated load	190	5.4	2.1	7.8	75
	75% of rated load	255	7.2	2.8	10.5	101
	100% of rated load	316	9	3.4	13	125
RG027	Exercise cycle	42	1.2	0.44	1.7	16
	25% of rated load	108	3.1	1.2	4.5	43
	50% of rated load	197	5.6	2.1	8.1	78
	75% of rated load	287	8.2	3.1	11.8	114
	100% of rated load	359	10.2	3.9	14.8	143
RG032	Exercise cycle	79	2.2	0.8	3.2	30
	25% of rated load	144	4.1	1.7	6.3	60
	50% of rated load	226	6.4	2.7	10.3	97
	75% of rated load	298	8.4	3.7	13.9	132
	100% of rated load	375	10.6	4.6	17.5	166
RG038	Exercise cycle	83	2.3	0.9	3.2	31
	25% of rated load	162	4.6	1.7	6.6	62
	50% of rated load	255	7.2	2.9	10.8	103
	75% of rated load	345	9.8	4	15	142
	100% of rated load	437	12.4	5.2	19	185
RG048	Exercise cycle	95	2.7	1	3.9	38
	25% of rated load	204	5.8	2.16	8.5	82
	50% of rated load	392	11.1	4.14	15.7	151
	75% of rated load	547	15.5	5.8	22.8	220
	100% of rated load	756	21.5	7.96	31.3	302

Note: Fuel pipe must be sized for full load.

For Btu content, multiply ft<sup>3</sup>/hr x 2520 (LP) or ft<sup>3</sup>/hr x 1000 (NG)

For megajoule content, multiply m<sup>3</sup>/hr x 93.15 (LP) or m<sup>3</sup>/hr x 37.26 (NG)

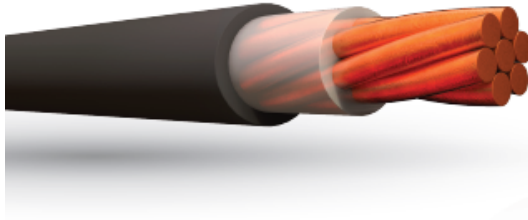
Refer to "Emissions Data Sheets" for maximum fuel flow for EPA and SCAQMD permitting purposes.

STANDBY RATING: Standby ratings apply to installations served by a reliable utility source. The standby rating is applicable to varying loads for the duration of a power outage. There is no overload capability for this rating. Ratings are in accordance with ISO-3046-1. Design and specifications are subject to change without notice.

## ANEXO H: Características del conductor y cotización

### CONDUCTORES DE COBRE

### TTU (0.6, 2 kV)



Conductor de cobre para (0.6, 2 kV) aislado con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC), resistente a la humedad y calor. Puede ser enterrado directamente.

### CONSTRUCCIÓN

Los conductores de tipo TTU (0.6, 2 kV) son cableados y están contruídos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico polietileno (PE) resistente a la humedad y al calor, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de policloruro de vinilo (PVC). Se suministran en color negro siempre y con distintas formas de embleaje.

### APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU (0.6, 2 kV) son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales y comerciales, son especialmente aptos para instalaciones a la intemperie o directamente enterrados. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 75 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones son de 0.6 o 2 kV.

### ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo TTU (0.6, 2 kV) fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- **ASTM B3:** Alambres de cobre recocido o suave.
- **ASTM B8:** Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
- **ASTM B787:** Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación uniley para ser aislados posteriormente.
- **ANSI/NEMA WC 70**  
**ICEA S-95-658** : Cables de potencia nominal 0.6, 2 kV. o menos, para distribución de energía eléctrica.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.



MATRIZ: PARQUE INDUSTRIAL "EL SAUCE", KM. 11 1/2 VÍA DAULE, GUAYAQUIL - ECUADOR  
TELÉFONOS: GUAYAQUIL: (593) 4 370 5460 - QUITO: (593) 2 292 9111 - CUENCA: (593) 2 900 3251

[www.electrocable.com](http://www.electrocable.com)

Conductor de cobre para 2 kV aislado con polietileno (PE) y chaqueta de policloruro de vinilo (PVC), resistente a la humedad y calor.  
Puede ser enterrado directamente.

## 2 kV tipo TTU

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm <sup>2</sup> )	No. Hilos					
<b>FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO</b>							
8	8,367	7	1,40	0,76	8,02	122,71	50
6	13,3	7	1,40	0,76	8,98	175,47	65
4	21,15	7	1,40	0,76	10,20	257,14	85
<b>FORMACIÓN UNILAY</b>							
8	8,367	19	1,40	0,76	7,94	121,33	50
6	13,3	19	1,40	0,76	8,88	173,48	65
4	21,15	19	1,40	0,76	10,07	254,26	85
2	33,62	19	1,40	0,76	11,57	379,64	115
1	42,4	19	1,65	1,14	13,72	499,08	130
1/0	53,49	19	1,65	1,14	14,73	614,25	150
2/0	67,44	19	1,65	1,14	15,85	753,99	175
3/0	85,02	19	1,65	1,14	17,11	928,63	200
4/0	107,2	19	1,65	1,14	18,53	1147,20	230
<b>FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO</b>							
250	126,7	37	1,90	1,65	21,72	1402,50	255
300	152	37	1,90	1,65	23,10	1652,73	285
350	177	37	1,90	1,65	24,40	1899,18	310
400	203	37	1,90	1,65	25,59	2153,22	335
500	253	37	1,90	1,65	27,76	2640,43	380
600	304	61	2,29	1,65	30,56	3151,61	420
750	380	61	2,29	1,65	33,23	3882,31	475
1000	507	61	2,29	1,65	37,14	5095,44	545

\*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30 °C. Ref NEC (Tabla 310.16)



Quito, 21 de Noviembre del 2019

Ingeniero  
Byron Bolaños  
Ciudad



De mi consideración:

Nos complace hacerle llegar nuestra mejor oferta para los conductores por Ud, requeridos:

ITEM	CANT/M	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
1	900	THHN 2 AWG (19 HILOS) 90°C 600V	2,936	2.642,40
2	906	THHN 6 AWG (7 HILOS) 90°C 600V	1,301	1.178,71
3	900	TTU 2 AWG (19 HILOS) 75°C 2000V	3,218	2.896,20
4	906	TTU 6 AWG (7 HILOS) 75°C 2000V	1,423	1.289,24
			<b>SUMAN</b>	<b>8.006,54</b>
			<b>(+) 12% IVA</b>	<b>960,79</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>8.967,33</b>

**CONDICIONES GENERALES DE LA OFERTA:**

VALIDEZ DE OFERTA: 5 días

TIEMPO DE ENTREGA: Inmediato, salvo venta previa.

FORMA DE PAGO: Contado.

Esperamos poder servirlos, cualquier inquietud o comentario no dude en contactarnos.

Cordialmente,  
**ELECTROCABLES C.A**

  
**ANGEL CARRANZA**

Teléfonos: 2829-111 / 112 / 113 / 114

Cel: 0992950962

Fax: 2829-115

Email: [acarranza@electrocable.com](mailto:acarranza@electrocable.com)

## ANEXO I: Fotografías



Disposición actual de los estiércoles



Cultivos y ganado en la zona



Corrales del ganado



Cuantificación de materia prima