



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ESTUDIO TECNO-ECONÓMICO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS  
A BASE DE ESTIÉRCOL BOVINO EN SAN FRANCISCO DE YOJOA, CORTÉS, HONDURAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ENERGÍA**

**PRESENTADO POR:**

**21811080 ROCÍO MICHELLE CRUZ PACHECO**

**21811195 ANNER BAUTISTA BUESO HERNÁNDEZ**

**ASESOR:**

**PHD. HÉCTOR VILLATORO**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA; 03 DE AGO. DE 22**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a AHLE y al programa universitario AJC, a mis padrinos Cristina Addison, Maureen y Brian. A mi abuela Victoria Manzanares, a mis hermanos Erika, Alber, Yojana, Lizeth y mis hermanos de AHLE. Gracias por el apoyo y esfuerzo que me han brindado a lo largo de todos estos años de estudio.

### **Anner**

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres, Alva Gloria Pacheco y Fidel Egberto Cruz Rodríguez, a mis hermanas Katheryn Cruz y Alondra Cruz, a mi abuela Guadalupe Pacheco. Gracias por el apoyo y motivación que me brindaron en este proceso.

### **Rocío**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primariamente a Dios que ha sido la clave y guía para la culminación de nuestros estudios universitarios. Agradecemos a nuestros familiares y amigos por el apoyo incondicional que nos brindaron a lo largo del desarrollo de este proyecto. Agradecemos especialmente al Ingeniero Héctor Villatoro por ser nuestro mentor y guía durante el desarrollo de nuestra investigación y por enseñarnos valores de compromiso y responsabilidad. Agradecemos a la ONG Acción Humana de la Luz Eterna por brindarnos apoyo cuando se les solicito información esencial para esta investigación.

## RESUMEN

En Honduras el sector residencial cubre sus necesidades energéticas de calor mayormente con leña. Esto es un problema porque incrementa la deforestación e incrementa casos de enfermedades respiratorias por la inhalación de partículas de combustión. Una alternativa al uso de leña en el sector residencial es el uso de gas licuado de petróleo (GLP). Sin embargo, no es una solución viable para todo el sector residencial, ya que en el sector rural la obtención de los cilindros de GLP es difícil por la poca disponibilidad comercial. Además, su relativo alto costo no permite que todo el sector rural pueda acceder a esta solución. Como una alternativa, en este trabajo se propone el uso de biogás generado a partir de desechos orgánicos de ganado bovino. Para esto se presenta el dimensionamiento e instalación de un prototipo de un biodigestor cuyo biogás pueda ser utilizado para la cocción de alimentos en la organización sin fines de lucro (ONG) llamada Acción Humana de la Luz Eterna (AHLE) ubicada en San Francisco de Yojoa, Cortés. AHLE se dedica a brindar albergue a niños que se encuentran en riesgo social por la situación económica y social que se presenta en Honduras. Con este prototipo se evaluó la factibilidad técnica del biodigestor, así como también se analizó la factibilidad económica y ambiental. Para evaluar la factibilidad económica se realizó un análisis financiero con los costos requeridos para la instalación del biodigestor. Mediante este análisis se calculó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) que fueron utilizados como indicadores económicos para determinar si el proyecto de investigación es factible. En cuanto a la factibilidad técnica se determinó mediante dos factores: el primero fue evaluar si la materia prima para la alimentación del biodigestor era suficiente y la segunda si el área asignada para la instalación del prototipo era la suficiente. Por último, se realizó un análisis ambiental el cual consistió en comparar los impactos ambientales que genera AHLE actualmente con la utilización de leña y GLP con los impactos ambientales que generaría luego de la implementación del prototipo de un biodigestor. Se espera que este trabajo sirva como referencia para AHLE y las haciendas localizadas en San Francisco de Yojoa para reducir costos mediante la sustitución de GLP o leña por biogás y puedan ayudar reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente.

Palabras claves: GLP, leña, biogás, biodigestor, purificación del biogás, ganado bovino, emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **ABSTRACT**

In Honduras, the residential sector covers its heat energy needs mainly with fuelwood. This is a problem because it increases deforestation and increases cases of respiratory diseases due to the inhalation of combustion particles. An alternative to the use of fuelwood in the residential sector is the use of liquified petroleum gas (LPG). However, it is not a viable solution for the entire residential sector, since in the rural sector obtaining LPG cylinders is difficult due to the limited commercial availability. Furthermore, its relative high cost does not allow the entire rural sector to have access to this solution. As an alternative, this work proposes the use of biogas generated from organic waste from cattle. For this, the sizing and installation of a biodigester whose biogas can be used for cooking food is presented in the nonprofit organization called Human Action of Eternal Light (HAEL) located in San Francisco de Yojoa, Cortés. AHLE dedicates in providing shelter to children who are at social risk due to the economic and social situation in Honduras. With this prototype, the technical feasibility of the biodigester was evaluated, as well as the economic and environmental feasibility. To evaluate the economic feasibility, a financial analysis was carried out with the costs required for the installation of the biodigester. Through this analysis, the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR) were calculated, which were used as economic indicators to determine if the research project is feasible. As for the technical feasibility, it was determined by two factors: the first was to evaluate if the raw material for feeding the biodigester was sufficient and the second if the area assigned for the installation of the prototype was enough. Finally, an environmental analysis was carried out which consisted of comparing the environmental impacts that HAEI currently generates with the use of fuelwood and LPG with the environmental impacts that it would generate after the implementation of the prototype of a biodigester. It is hoped that this work will serve as a reference for HAEI and the farms located in San Francisco de Yojoa to reduce costs by replacing LPG or fuelwood with biogas and can help reduce CO<sub>2</sub> emissions to the environment.

Keywords: LPG, fuelwood, biogas, biodigester, biogas purification, cattle, CO<sub>2</sub> emissions.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	5
2.1.	Precedentes del Problema.....	5
2.2.	Definición del Problema.....	7
2.3.	Justificación.....	8
2.4.	Preguntas de Investigación.....	10
2.5.	Objetivos.....	11
2.5.1.	Objetivo General.....	11
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	11
III.	Marco Teórico.....	12
3.1.	Biomasa.....	12
3.1.1.	Características energéticas de la biomasa.....	13
3.2.	Potencial biomásico en Honduras.....	13
3.2.1.	Biomasa Forestal.....	14
3.2.2.	Biomasa de residuos agrícolas.....	15
3.2.3.	Cultivos dedicados.....	16
3.3.	Marco regulatorios de la leña y el GLP.....	17
3.3.1.	Marco regulatorio de los bosques en honduras.....	17
3.3.2.	Marco regulatorio sobre el uso y manejo del GLP.....	17
3.4.	Localización del proyecto.....	18
3.5.	Análisis de la situación actual en Honduras leña y GLP.....	20

3.5.1.	Análisis ambiental en Honduras .....	25
3.6.	Biodigestor .....	26
3.6.1.	Tipos de biodigestores .....	26
3.6.2.	Partes del Biodigestor .....	30
3.6.3.	Ventajas y desventajas de los biodigestores.....	34
3.7.	Biogás.....	37
3.7.1.	Residuos para producción de biogás .....	37
3.7.2.	Aspectos químicos del biogás .....	38
3.7.3.	Biogás y sus diversas aplicaciones .....	39
3.7.4.	El biogás y su impacto ambiental.....	40
IV.	Metodología.....	43
4.1.	Enfoque .....	43
4.2.	Variables de Investigación.....	44
4.2.1.	Variables dependientes.....	44
4.2.2.	Variables Independientes .....	46
4.3.	Técnicas e instrumentos.....	51
4.3.1.	Microsoft Excel .....	51
4.3.2.	Google Earth.....	51
4.3.3.	AutoCAD .....	51
4.3.4.	QGIS.....	51
4.3.5.	Entrevistas a administración de la ONG AHLE.....	51
4.4.	Materiales .....	51
4.4.1.	Materiales para la elaboración de la zanja.....	51

4.4.2.	Flange.....	52
4.4.3.	Tubería PVC para la entrada y salida del biodigestor.....	52
4.4.4.	Tubería PVC para la conducción del biogás.....	52
4.4.5.	Válvulas de seguridad.....	52
4.4.6.	Reactor.....	52
4.5.	Población y muestra.....	53
4.6.	Metodología de Estudio.....	54
4.7.	Metodología de validación.....	55
4.7.1.	Obtención de los consumos de los combustibles GLP y leña.....	55
4.7.2.	Análisis del recurso primario disponible y del espacio asignado.....	56
4.7.3.	Cálculo de diseño del biodigestor.....	57
4.7.4.	Dimensionamiento de prototipo del biodigestor.....	60
4.7.5.	Instalación de prototipo de biodigestor tubular.....	63
4.7.6.	Análisis de la factibilidad técnica.....	71
4.7.7.	Análisis de la factibilidad económica.....	71
4.7.8.	Análisis ambiental.....	71
4.8.	Cronograma de Actividades.....	72
V.	Resultados y Análisis.....	73
5.1.	Obtención de los consumos de los combustibles GLP y leña.....	73
5.2.	Análisis del recurso primario disponible.....	77
5.3.	Cálculo de diseño del biodigestor.....	78
5.3.1.	Tiempo de retención.....	78
5.3.2.	Carga de mezcla diaria.....	79

5.3.3.	Volumen total del biodigestor .....	79
5.3.4.	Producción de Biogás .....	81
5.3.5.	producción de biol o fertilizante .....	83
5.4.	Dimensionamiento de prototipo del biodigestor .....	84
5.5.	Resultado de la instalación del prototipo de biodigestor.....	87
5.6.	Análisis de la factibilidad técnica .....	88
5.7.	Análisis de la factibilidad económica .....	89
5.8.	Análisis ambiental.....	91
VI.	Conclusiones .....	93
VII.	Recomendaciones.....	95
VIII.	Aplicabilidad / Implementación.....	96
IX.	Bibliografía.....	97
X.	Anexos.....	103

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema Conceptual Previo a Instalación de Sistema de Biogás.....	8
Ilustración 2 Esquema Conceptual de Producción de Biogás.....	9
Ilustración 3 Tipos de Biomasa .....	12
Ilustración 4 Distribución espacial de accesibilidad de biomasa proveniente de bosques.....	15
Ilustración 5 Área potencial para el cultivo de caña de azúcar .....	16
Ilustración 6 Departamento donde se ubica el proyecto de investigación, Honduras .....	19
Ilustración 7 Municipio donde se ubica el proyecto de investigación, Cortés .....	19
Ilustración 8 Consumo histórico de leña durante el periodo 2005-2019.....	20
Ilustración 9 Eco-Fogón.....	21
Ilustración 10 Estufa "Tradicional" usada en el sector rural hondureño .....	22
Ilustración 11 Crecimiento del PIB y de emisiones del sector energía para el período 2005 – 2019 en Honduras.....	26
Ilustración 12 Biodigestor tipo tubular .....	27
Ilustración 13 Esquema de un biodigestor de domo fijo.....	28
Ilustración 14 Esquema de domo flotante .....	29
Ilustración 15 Sistemas tipo batch.....	30
Ilustración 16 Manga Tubular para biodigestor de flujo continuo .....	32
Ilustración 17 Trampa de ácido sulfhídrico .....	34
Ilustración 18 Relleno Sanitario Doña Juana .....	42
Ilustración 19 Metodología de la Investigación .....	43
Ilustración 20 Variables Técnicas Independientes .....	46
Ilustración 21 Variables Económicas Independientes .....	47

Ilustración 22 Propiedad de ONG AHLE.....	53
Ilustración 23 Metodología de Validación.....	55
Ilustración 24 Ancho del rollo del polietileno tubular o manga .....	63
Ilustración 25 Medición de zanja .....	64
Ilustración 26 Preparación de zanja para instalación de biodigestor .....	65
Ilustración 27 Flanje para extracción de biogás .....	66
Ilustración 28 Instalación de tubería PVC para la carga y descarga en la manga tubular .....	66
Ilustración 29 Reactor con flange y tubería de entrada y salida instalada.....	67
Ilustración 30 Instalación y montaje de biodigestor dentro de la zanja.....	67
Ilustración 31 Instalación de tubería para conducción de biogás.....	68
Ilustración 32 Prueba de fuga de aire en biodigestor instalado.....	69
Ilustración 33 Conexión de biodigestor a estufa .....	70
Ilustración 34 Almacenamiento de leña en AHLE.....	76
Ilustración 35 Haciendas más cercanas a la ONG AHLE.....	77
Ilustración 36 Resultado de biodigestor instalado.....	87
Ilustración 37 Válvula "one way" .....	103
Ilustración 38 Estufa de gas .....	103
Ilustración 39 Sistema de distribución de biogás.....	103
Ilustración 40 Biodigestor AHLE .....	103
Ilustración 41 Neumático para almacenamiento de biogás.....	104
Ilustración 42 Transporte de estiércol a AHLE .....	104
Ilustración 43 Corral del Lic. Benigno.....	104
Ilustración 44 Vista de planta de espacio asignado para instalación de biodigestor.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Poder calorífico según tipo de combustible.....	24
Tabla 2 Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento .....	38
Tabla 3 Estado de fermentación anaeróbica según el valor del pH que presente la carga .....	39
Tabla 4 Consumo y eficiencia de distintos artefactos utilizando biogás.....	40
Tabla 5 Concentraciones de gases de efecto invernadero.....	41
Tabla 6 Temperaturas según el tipo de regiones.....	57
Tabla 7 Guía para Dimensionamiento de Zanja .....	62
Tabla 8 Historial de Consumo Mensual de GLP, enero-octubre 2021.....	74
Tabla 9 Producción de estiércol según el peso del ganado.....	78
Tabla 10 Relación sólidos totales según materia.....	81
Tabla 11 Factores de producción según ganado.....	83
Tabla 12 Parámetros según el ancho del rollo.....	85
Tabla 13 Resultado de VAN y TIR.....	89
Tabla 14 Inventario de materiales para construcción de prototipo del biodigestor.....	90
Tabla 15 Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de leña.....	91
Tabla 16 Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de GLP .....	91
Tabla 17 Emisiones de CO <sub>2</sub> por consumo de GLP con sistema de Biogás.....	92

## ÍNDICE DE GRAFICAS

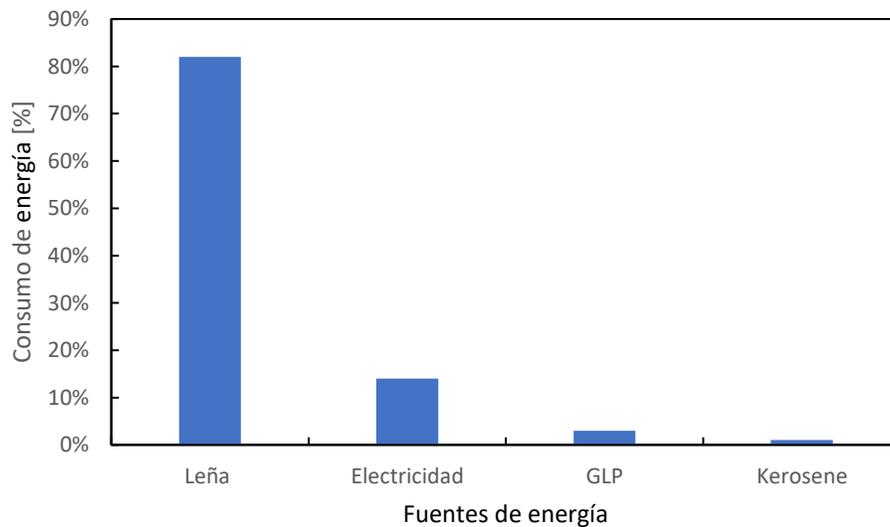
Gráfica 1 Consumo de leña y GLP en Honduras, 2019 .....	1
Gráfica 2 Consumo Energético de Honduras 2017 .....	6
Gráfica 3 Consumo Energético de Honduras 2019 .....	6
Gráfica 4 Consumo de leña y GLP de Honduras en el periodo 2017-2019 .....	7
Gráfica 5 Capacidad Instalada de Generación de Electricidad, Honduras 2019.....	14
Gráfica 6 Consumo de GLP por sectores en Honduras, 2019 .....	23
Gráfica 7 Relación de precios del cilindro de 25 lb en América Central durante agosto 2021 .....	24
Gráfica 8 Precio Mensual de Cilindro de 25 lb de GLP en Honduras 2020-2021 .....	49
Gráfica 9 Costo unitario de GLP durante el periodo de enero-octubre 2021.....	75
Gráfica 10 Consumo de GLP durante el periodo enero-octubre 2021.....	75
Gráfica 11 Consumo de GLP versus Producción de Biogás .....	88

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Valor Actual Neto.....	44
Ecuación 2 Tasa Interna de Retorno .....	45
Ecuación 3 Volumen Total del Biodigestor .....	58
Ecuación 4 Volumen Líquido del Biodigestor .....	58
Ecuación 5 Volumen Líquido del Biodigestor .....	58
Ecuación 6 Volumen Gaseoso del Biodigestor .....	58
Ecuación 7 Volumen Gaseoso del Biodigestor .....	58
Ecuación 8 Sólidos totales dentro del biodigestor.....	59
Ecuación 9 Sólidos volátiles dentro del biodigestor.....	59
Ecuación 10 Cantidad de biogás producida diario .....	59
Ecuación 11 Volumen de Cilindro.....	60
Ecuación 12 Sección Eficaz del Cilindro.....	60
Ecuación 13 Longitud del Biodigestor .....	61
Ecuación 14 Relación óptima.....	61
Ecuación 15 kg de CO <sub>2</sub> sin emitir por cambio de combustible .....	71

## I. INTRODUCCIÓN

Según la Secretaría de Estado en despacho de Energía, (2019) en Honduras la leña representa la mayor fuente de energía, representando un 82% del consumo energético en el sector residencial. Este fenómeno ocurre debido a que la leña es un combustible de fácil acceso en las zonas rurales y periurbana del país. Aunque las personas tengan acceso a energía eléctrica generalmente prefieren utilizar la leña como combustible para la cocción de alimentos, ya que las zonas rurales del país cuentan con accesibilidad de biomasa proveniente de los bosques. El tercer energético más empleado en el sector residencial es el Gas Licuado de Petróleo (GLP) que representa el 3% de la energía consumida en el sector residencial del país. Como se observa en la gráfica 1 el GLP tiene un bajo porcentaje de consumo en el país si se compara con la leña. Esto ocurre porque el GLP tiene un costo el cual las personas de la zona rural generalmente no pueden cubrir debido a la situación económica. Otro factor del bajo porcentaje de consumo de GLP es debido al difícil acceso a la zona rural que presentan las compañías que lo distribuyen.



**Gráfica 1 Energía consumida en el sector residencial en Honduras, 2019**

Fuente: Elaboración propia con datos de (*Secretaria de Estado en despacho de Energía, 2019*).

En Honduras desde el año 1979 se empezaron a realizar estudios sobre la implementación de biodigestores para la producción de biogás para las fincas de las zonas rurales aprovechando los residuos de la ganadería y agricultura, apoyados principalmente por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Filomeno, 2010). Actualmente, en Honduras la potencia eléctrica instalada es de 2,755.62 MW donde la biomasa representa un 8.24% de producción de energía eléctrica donde se emplean como materia prima el king grass, bagazo de la caña de azúcar y raquis de la palma africana (Secretaria de Estado en despacho de Energía, 2019).

En la actualidad (2021) existe una organización no gubernamental llamada Acción Humana de la Luz Eterna (AHLE) ubicada en San Francisco de Yojoa, Cortés que alberga más de 80 niños que se encontraban en riesgo social por la situación económica y social de Honduras. En AHLE diariamente se cocinan alimentos para los niños y colaboradores de la organización y los combustibles que usan para la cocción de estos alimentos son leña y GLP. El problema que busca resolver esta investigación es como disminuir los costos que se requieren para la adquisición de leña y GLP en AHLE por medio de un sistema de biogás. Para abordar la problemática se estudiará una alternativa que ayude a reducir el uso de leña y GLP. Tomando en cuenta que San Francisco de Yojoa es una zona ganadera y es una de las principales actividades socioeconómicas de la zona se optó por un biodigestor que aproveche el estiércol de ganado bovino. El estiércol servirá como materia prima para generar biogás que pueda ser utilizado para la cocción de alimentos en la organización y sustituir parte de los combustibles que actualmente se utilizan.

Gómez, Rodríguez y Torres (2017) realizaron una implementación de un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos de las granjas porcinas en el municipio de Tibana, Colombia. Esta investigación resuelve la problemática ambiental al momento de darle un adecuado manejo a la materia orgánica y representa un ahorro económico a las granjas porcinas al volverse autosustentables en cuanto a generación de energía eléctrica. Reyes (2016) implementó una evaluación de sitios potenciales para implementar proyectos piloto de biodigestores en El Salvador, con el propósito de evaluar la viabilidad de biodigestores de pequeña escala en comunidades y centros escolares. AGRACONSA (2011) realizó un estudio de factibilidad de un proyecto de dos biodigestores en el Negrito Yoro, Honduras. Este proyecto consiste en la

construcción de una planta de biogás para la generación de energía eléctrica en la granja avícola CAPESA. El objetivo de este proyecto fue contribuir a mejorar la calidad ambiental de la zona y mejorar el nivel técnico-financiero de la empresa. Lizeth Orellana (2016) en Francisco Morazán Honduras, evaluó la producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano, se basó en un estudio socioeconómico y ambiental. La investigación demuestra los beneficios económicos y ambientales que conlleva la instalación de un biodigestor de tipo artesanal en la zona. Moreira (2013) diseñó un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado en el rancho Verónica en Ecuador con el fin de producir biogás y biofertilizante utilizando el estiércol que se acumula en el rancho y así buscar una alternativa viable para el manejo de los residuos orgánicos. Arrieta-Palacios (2016) en la Universidad de Piura, Perú diseñó un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado vacuno o porcino con el fin de satisfacer la demanda energética, para la iluminación y la cocción diaria de alimentos, de una familia entre los cuatro o seis miembros, empleando el VAN y el periodo de recuperación de la inversión (payback) para determinar la factibilidad económica. Pérez & Chinaea (2019) en la Universidad de Cienfuegos, Cuba realizaron la evaluación de la factibilidad de las mezclas de residuos orgánicos con el objetivo de buscar una mejora en la producción de biogás mezclando los residuos agrícolas purín (residuos que se acumulan en las granjas de los cerdos). Vergara (2007) en Guayaquil, Ecuador efectuó el diseño de un biodigestor para la generación de energía eléctrica a partir de desechos biodegradables buscando satisfacer los requerimientos de una vivienda que tenga elementos básicos de baja potencia tales como focos, radio, ventilador y nevera.

El principal propósito de esta investigación es la realización de un estudio tecno-económico de un biodigestor para la generación de biogás a base de estiércol bovino. Para realizar el estudio económico de la investigación se usarán parámetros como el valor actual neto el cual debe de ser mayor a 1 y la tasa interna de retorno la cual debe de estar en un rango de 20 y 30%. Para el estudio técnico se emplearán parámetros como la disponibilidad de la materia prima (estiércol bovino) en la zona de San Francisco de Yojoa y el espacio para la instalación del prototipo. El proyecto se considerará factible si se cumple la viabilidad de la parte técnica y económica.

El primer paso a efectuar en esta investigación es analizar los consumos actuales de leña y GLP en la ONG AHLE. Estos nos ayudarán a generar una mejor comprensión de la problemática. Como siguiente objetivo se tiene determinar la cantidad de estiércol disponible en la zona. Este objetivo servirá para realizar los cálculos del tamaño del biodigestor y determinar el tipo de biodigestor que será adecuado para AHLE. La estimación de costos de los materiales nos ayudará a realizar la inversión inicial que conlleva instalar un prototipo y esto se refleja en el flujo de caja donde se calculó el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto. Finalmente, el análisis ambiental se realizará comparando los impactos ambientales que genera AHLE actualmente con los que generará luego de la implementación del prototipo de un biodigestor.

Este documento se estructura de la siguiente manera: Capítulo dos, se muestra el planteamiento del problema y su justificación, preguntas y objetivos de la investigación. Capítulo tres, se encontrará el marco teórico en el cual se realizará una recopilación de información acerca de temas que sustentan la investigación como la biomasa, los biodigestores y el biogás. Capítulo cuatro, se determina la metodología a usar y se definen las variables de investigación dependientes e independientes. Capítulo cinco, se encuentran los análisis y resultados de la investigación para la validación de la factibilidad tecno-económica. Capítulo seis, se presentan las conclusiones como resolución de la investigación. Capítulo siete, se encuentran las recomendaciones.

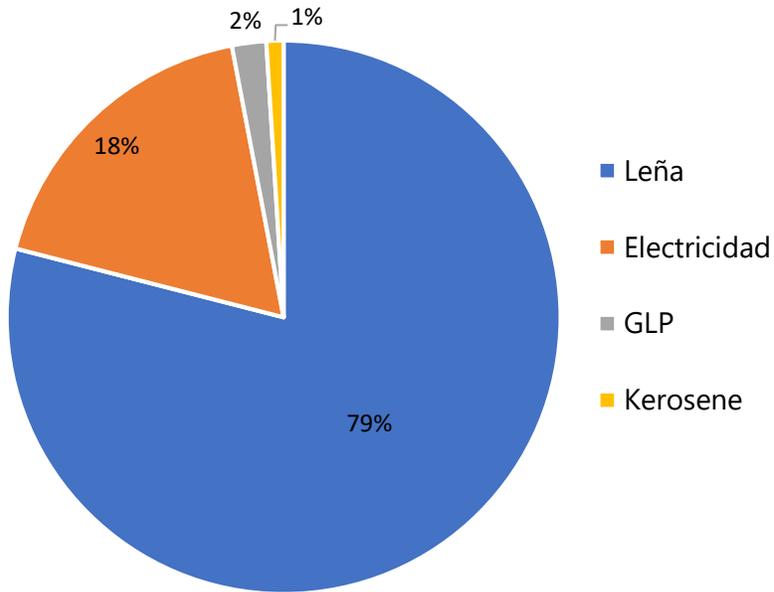
## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se abordará el problema de investigación que se estará estudiando a lo largo del proyecto. En precedentes del problema se muestra una descripción amplia del principal problema que se tiene, de igual manera se definirá las razones por qué es importante resolverlo. Se definirán todas las preguntas de investigación y los objetivos a cumplir a lo largo de la elaboración de la investigación.

### 2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

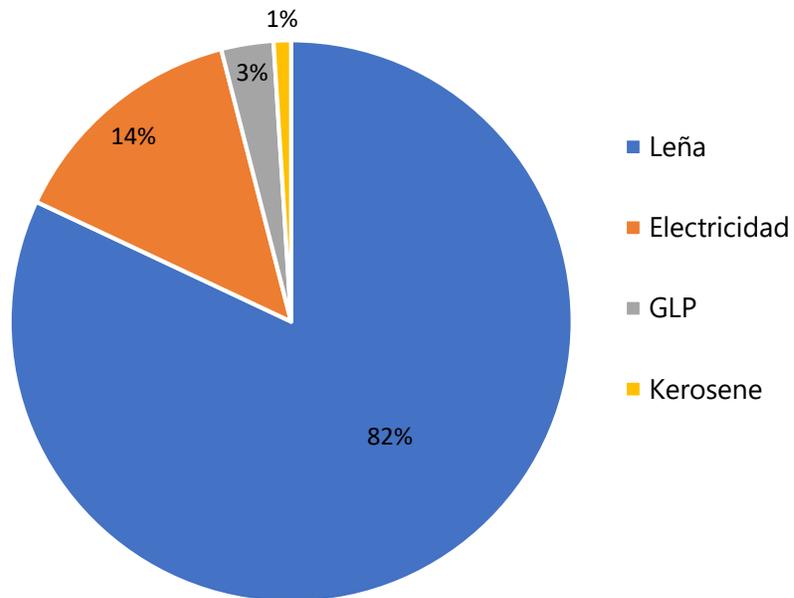
Honduras es un país vulnerable económicamente donde el 60 % de la población hondureña se encuentra en situación de pobreza. La pobreza en Honduras se define como un comportamiento oscilante debido al desempleo, a los bajos ingresos y desprotección social (ICF, 2021). El 79 % de los hogares utilizan la leña como combustible para la cocción de sus alimentos, ya que se tiene un menor costo y un mayor acceso (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2020).

*Secretaria de Estado en despacho de Energía, (2019)* menciona que la mayor fuente de energía de Honduras en el sector residencial es la leña que representa el 82 %. Lo cual provoca un problema grave en el país, ya que como resultado se da la deforestación de 78,000 hectáreas de bosque al año incluyendo la tala ilegal e incendios (ICF, 2021). No se le da la importancia necesaria a los planes de reforestación de las áreas de donde se está extrayendo la materia prima. El gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible utilizado generalmente en las viviendas y en el transporte. Este combustible representa un 3 % de la energía utilizada en el sector residencial el cual va en aumento respecto a los años anteriores. Comparándolo con el año 2017 representaba únicamente un 2 % de la utilización en las viviendas. Este aumento también provoca una mayor quema de este tipo de combustibles lo cual genera gases tales como el dióxido de carbono, monóxido de carbono entre otros gases que contribuyen al efecto invernadero (*Secretaria de Estado en despacho de Energía, 2019*).



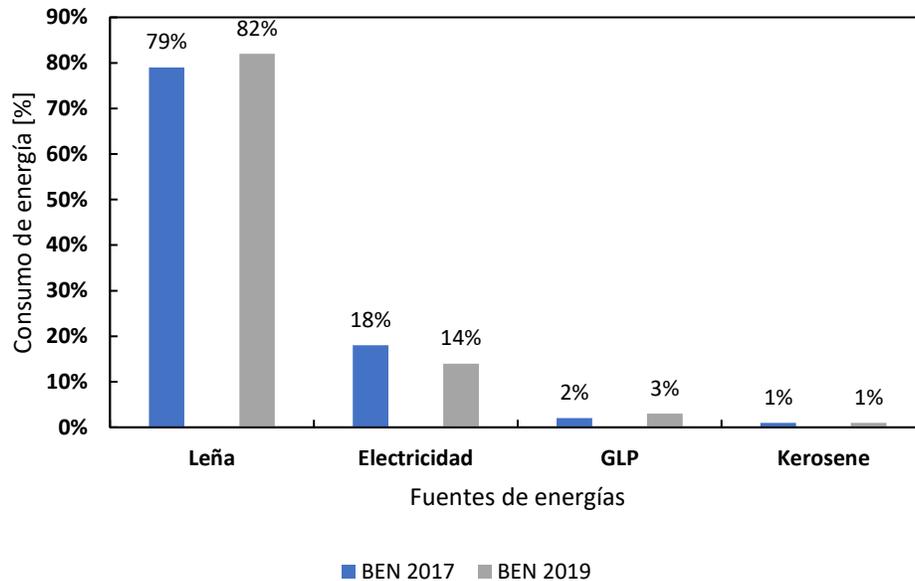
Total: 11,513 KBEP

**Gráfica 2 Energía consumida en el sector residencial en Honduras, 2019**



Total: 11,998 KBEP

**Gráfica 3 Energía consumida en el sector residencial en Honduras, 2019**

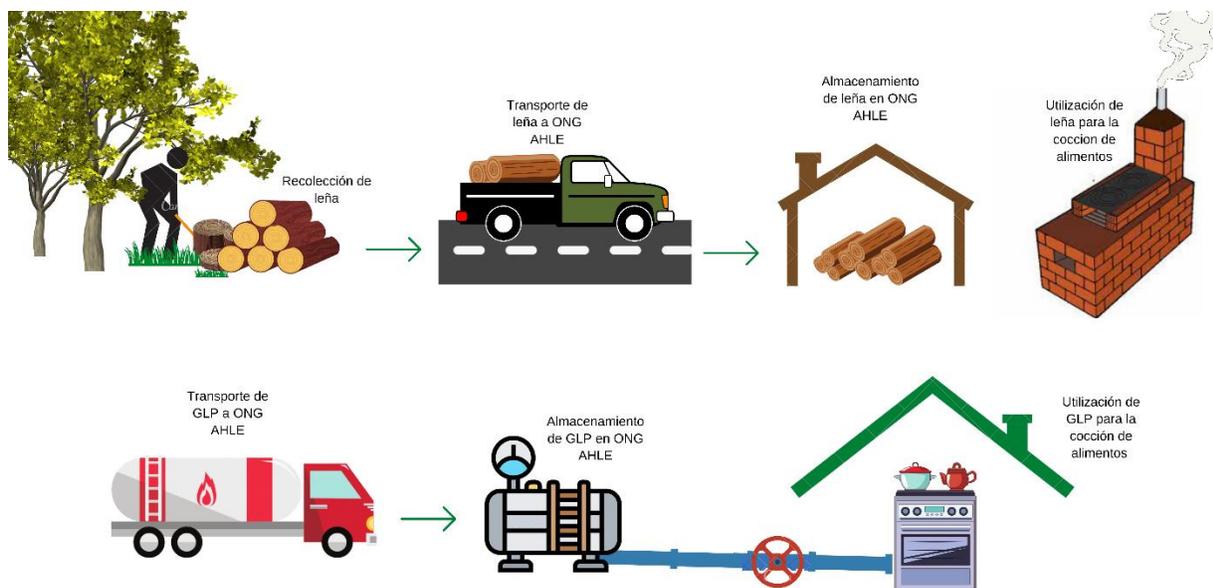


**Gráfica 4 Energía consumida en el sector residencial en Honduras, 2019 en el periodo 2017-2019**

Fuente: Elaboración propia con datos de (*Secretaría de Estado en despacho de Energía*, 2019).

## 2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En San Francisco de Yojoa existe una Organización No Gubernamental (ONG) llamada Acción Humana de la Luz Eterna (AHLE) la cual alberga más de 80 niños en riesgo social y diariamente se preparan los alimentos por medio del consumo de leña y GLP. AHLE consume un aproximado de 65 galones mensuales de GLP y 1,875 lb de leña mensual para la cocción de los alimentos que se les proporciona a los niños y colaboradores del lugar (M. Ortiz, comunicación personal, 2021). En la **ilustración 1** se puede observar el proceso actual que se lleva a cabo para la obtención de leña y GLP para la cocción de alimentos.



**Ilustración 1 Esquema Conceptual Previo a Instalación de Sistema de Biogás**

Fuente: Elaboración propia, 2021

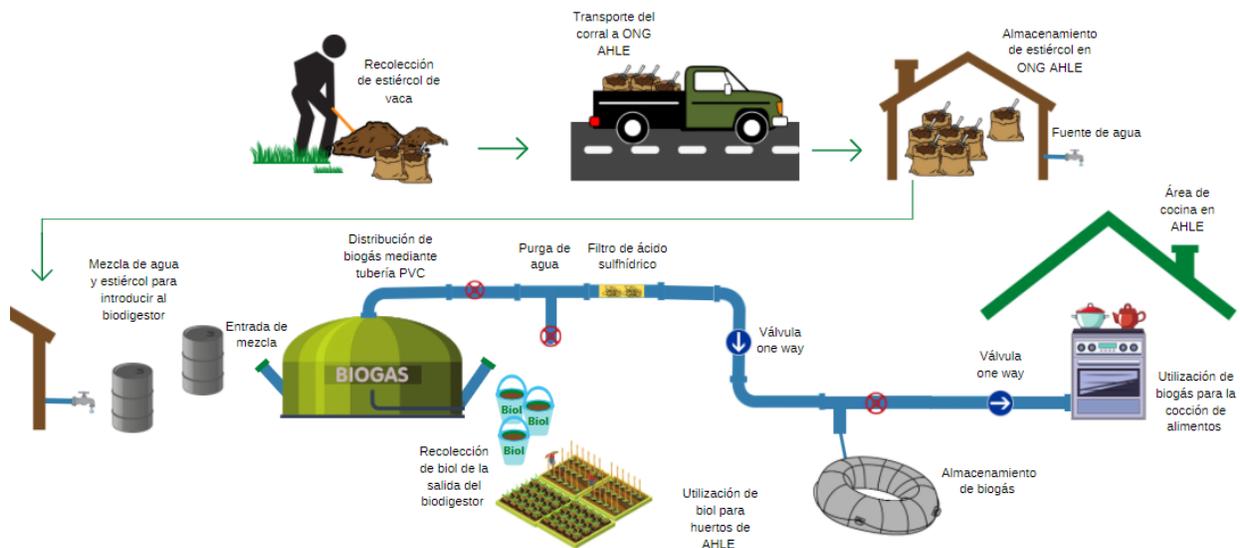
El uso de leña como combustible no es amigable para el medio ambiente ni para la salud de los colaboradores que a diario preparan la comida, ya que se emite humo el cual puede generar un problema de salud a largo plazo. Las consecuencias que la leña genera en la salud de las personas dependen del tiempo en que se exponga al humo, ya que está respirando la combustión de la leña (Publichealth, s. f.). De igual manera la ONG no cuenta con una propiedad para darle seguimiento a un rol de reforestación y mitigar ese impacto ambiental. Analizando su otra alternativa la cual es el GLP los afecta económicamente porque es un combustible que se debe comprar mensualmente para cocinar los alimentos dentro de la ONG representando un gasto de aproximadamente L. 10,000. (M. Ortiz, comunicación personal, 2021). Por lo tanto, se debe buscar una alternativa mucho más amigable y económica.

### 2.3. JUSTIFICACIÓN

La contaminación por parte de los gases de efecto invernadero ha tenido un incremento durante los últimos años lo que está afectando en gran medida al planeta, por el consumo de los gases derivados del petróleo que cada vez se están acabando y debido a eso ocurre un

incremento en los precios para su obtención, de igual manera la tala de los bosques para fines domésticos contribuye a la contaminación. Es importante recalcar que la reforestación de los bosques contribuye a mitigar estos efectos, ya que purifica el aire absorbiendo el CO<sub>2</sub> y sostienen la vida del planeta, los animales y las personas de manera positiva.

Por medio de este proyecto se pretende buscar una alternativa que ayude a disminuir la deforestación de los bosques y a la utilización de GLP, siendo como tema de estudio la implementación de un biodigestor que utiliza como materia prima el estiércol de ganado proveniente de una de las actividades socioeconómicas principales de la zona de San Francisco de Yojoa. De igual manera este prototipo puede servir de inspiración para los habitantes de la zona implementando un biodigestor familiar para su propio beneficio que ayude a su economía y a combatir el cambio climático. En la **ilustración 2** se puede observar el nuevo proceso de la obtención de combustible para la cocción de alimentos que tendría AHLE.



**Ilustración 2 Esquema Conceptual de Producción de Biogás**

Fuente: Elaboración propia, 2021

## **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Cuáles son los consumos de leña y GLP utilizados para la cocción de alimentos en la ONG AHLE?
2. ¿Cuál es la disponibilidad de estiércol que se puede destinar para el biodigestor en la ONG AHLE?
3. ¿Qué tamaño y tipo de biodigestor es el adecuado para las condiciones de demanda en la ONG AHLE?
4. ¿Cuál es la inversión económica que se debe hacer para la compra obtención de materiales y poder prototipar el biodigestor?
5. ¿Cuál es el ahorro económico que se tendrá en AHLE luego de la implementación del biodigestor?
6. ¿Qué factibilidad económica se obtiene con la implementación de un sistema de biodigestor en la ONG AHLE?
7. ¿En qué cantidad se reducen los gases de efecto invernadero después de la sustitución de leña y GLP por el prototipo del biodigestor?

## 2.5. OBJETIVOS

### 2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Dimensionar e instalar un prototipo para evaluar la factibilidad económica y ambiental de un biodigestor que aproveche el estiércol de ganado bovino para generar biogás que pueda ser utilizado en la cocción de alimentos en la ONG AHLE.

### 2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar los consumos actuales de leña y GLP que se utilizan para la cocción de alimentos en la ONG AHLE.
2. Determinar la cantidad de estiércol disponible en la zona según las haciendas cercanas y dispuestas a intercambiar el estiércol por biofertilizante.
3. Definir el tamaño y tipo de biodigestor que mejor se adecue a las condiciones de demanda en la ONG AHLE y a la disposición de la materia prima.
4. Estimar los costos de los materiales requeridos para la implementación de un sistema de generación de biogás en la ONG AHLE.
5. Realizar un prototipo de un biodigestor con los materiales adecuados en el espacio asignado por la ONG AHLE que sustituya la demanda de leña más GLP utilizada actualmente en AHLE en función de la cantidad de ganado que se tenga.
6. Evaluar la factibilidad económica utilizando como indicadores un Valor Actual Neto (VAN) el cual debe de ser mayor a 1 para que el proyecto sea rentable y la Tasa Interna de Retorno (TIR) debe rondar entre un 20 % y un 30 %.
7. Comparar los impactos ambientales que genera AHLE actualmente con la utilización de leña y GLP con los impactos ambientales que generará luego de la implementación del prototipo de un biodigestor.

### III. MARCO TEÓRICO

Una vez definido el planteamiento del problema y los objetivos que se quieren alcanzar de la investigación se procede a realizar una investigación meticulosa acerca de temas y conceptos relacionados con el tema de investigación. Esta sección ayudará al lector a profundizar el conocimiento del problema que se está abordando y a entender a lo que se quiere llegar con dicha investigación.

#### 3.1. BIOMASA

La biomasa es un tipo de energía renovable y se basa en el aprovechamiento de la materia orgánica que es utilizada con el fin de ser un combustible. Existe una diversidad de materia orgánica que puede ser aprovechada por esta fuente de energía, como los residuos agrícolas, residuos forestales, agroalimentarios entre otras. La biomasa es bastante extensa, ya que se puede clasificar en diversos tipos, puede ser según su composición, según su origen, y según su estado. Esta clasificación se vuelve aún más extensa, ya que cada una de ellas contiene diferentes características que son distribuidas como se muestra en la imagen a continuación (Gonzales, Martin, 2012).

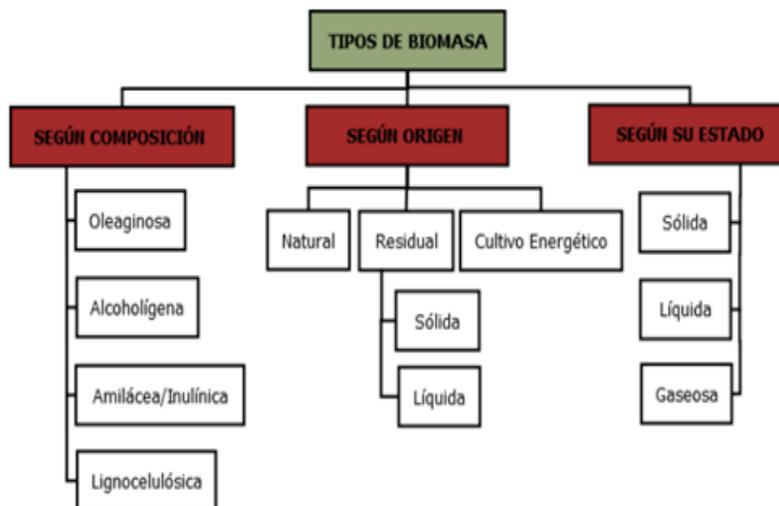


Ilustración 3 Tipos de Biomasa

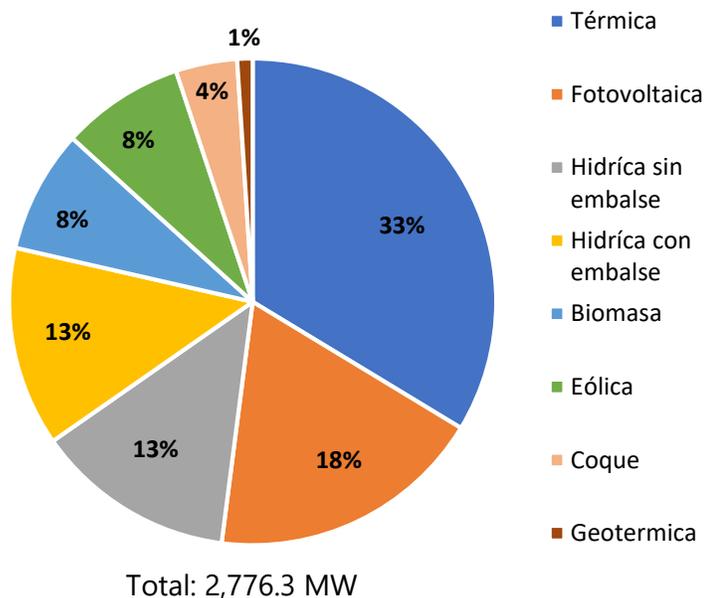
Fuente: (Gonzales, Martin, 2012).

### 3.1.1. CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA BIOMASA

La biomasa presenta varios parámetros que son importantes y muy significativos en el momento de la producción de biogás, estos parámetros pueden ser composiciones físicas y químicas. Estas dos composiciones son importantes, ya que son las que determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se desea generar. Van ligadas al proceso de combustión, en este proceso se quema lo que es la parte orgánica solamente, mientras que la parte inorgánica es la que influye en la combustión y finalmente es transformada en residuos sólidos o cenizas. Cabe recalcar que los tipos de biomasa o materiales de la biomasa se clasifican en tres partes, la parte orgánica, la parte inorgánica y el agua la cual no se puede dejar por fuera (Gonzales, Martin, 2012).

### 3.2. POTENCIAL BIOMÁSICO EN HONDURAS

Honduras tiene recursos para un potencial biomásico y el recurso más utilizado proviene del sector forestal el cual se clasifica dentro de las fuentes primarias. En el 2019 Honduras contó con una capacidad instalada de generación de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) total 2,776.3 MW siendo la biomasa el 8 % de ese total (*Secretaria de Estado en despacho de Energía*, 2019). En este apartado se analizará tres importantes inventarios de recursos de la biomasa en el país y el consumo que se tiene en cada una de ellas.

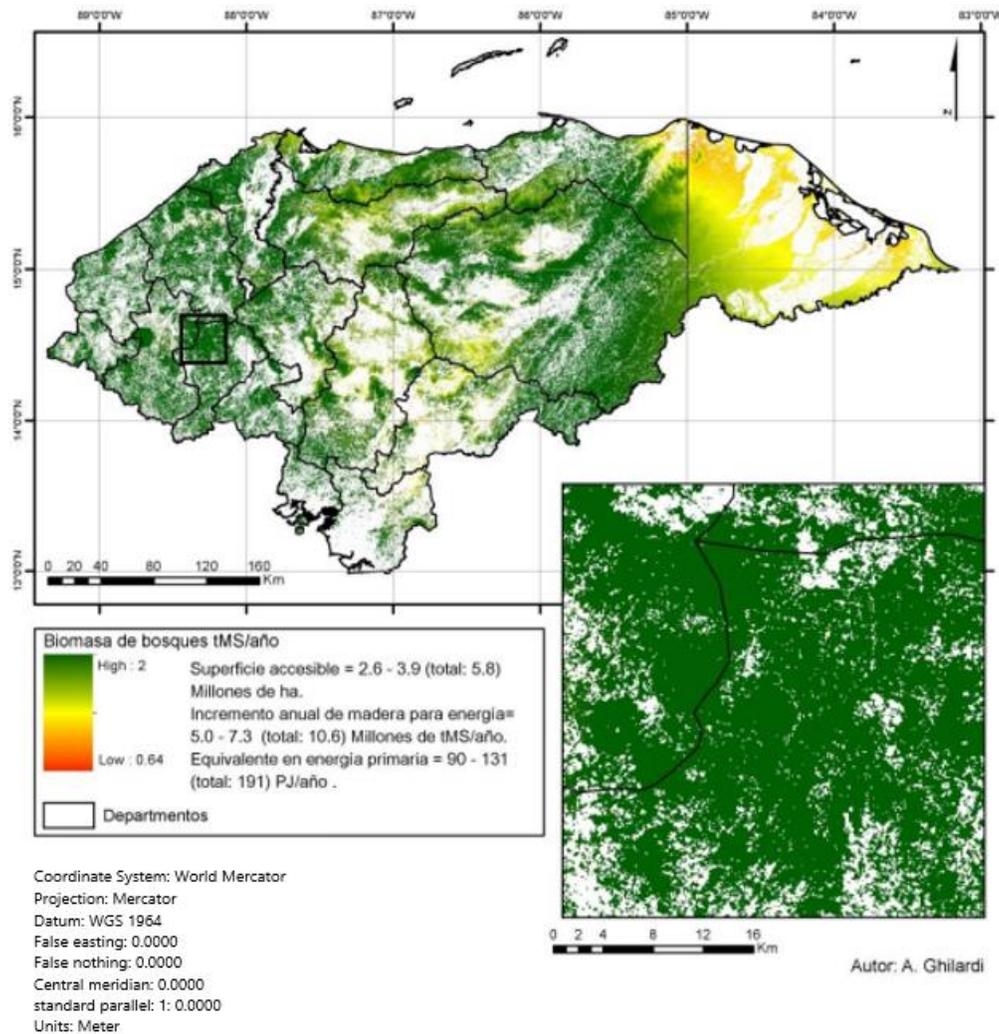


**Gráfica 5 Capacidad Instalada de Generación de Electricidad, Honduras 2019**

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (*Secretaría de Estado en despacho de Energía, 2019*)

### 3.2.1. BIOMASA FORESTAL

Honduras es un país con un paisaje que contiene bosques frondosos y llenos de vida a sus alrededores, alcanza hasta 5.4 millones de hectáreas en cobertura forestal. Contiene bosques latifoliados, mejor conocidos como bosques tropicales húmedos, estos predominan en un 57% y bosques de coníferas con 36.7 %. En la imagen a continuación se observa el mapa de Honduras con una distribución de vegetación en cuanto a los bosques el cual representa el potencial técnico de biomasa (Taur, Caballero, & Ghilardi, 2018).



**Ilustración 4 Distribución espacial de accesibilidad de biomasa proveniente de bosques.**

Fuente: (Taur, Caballero, & Ghilardi, 2018).

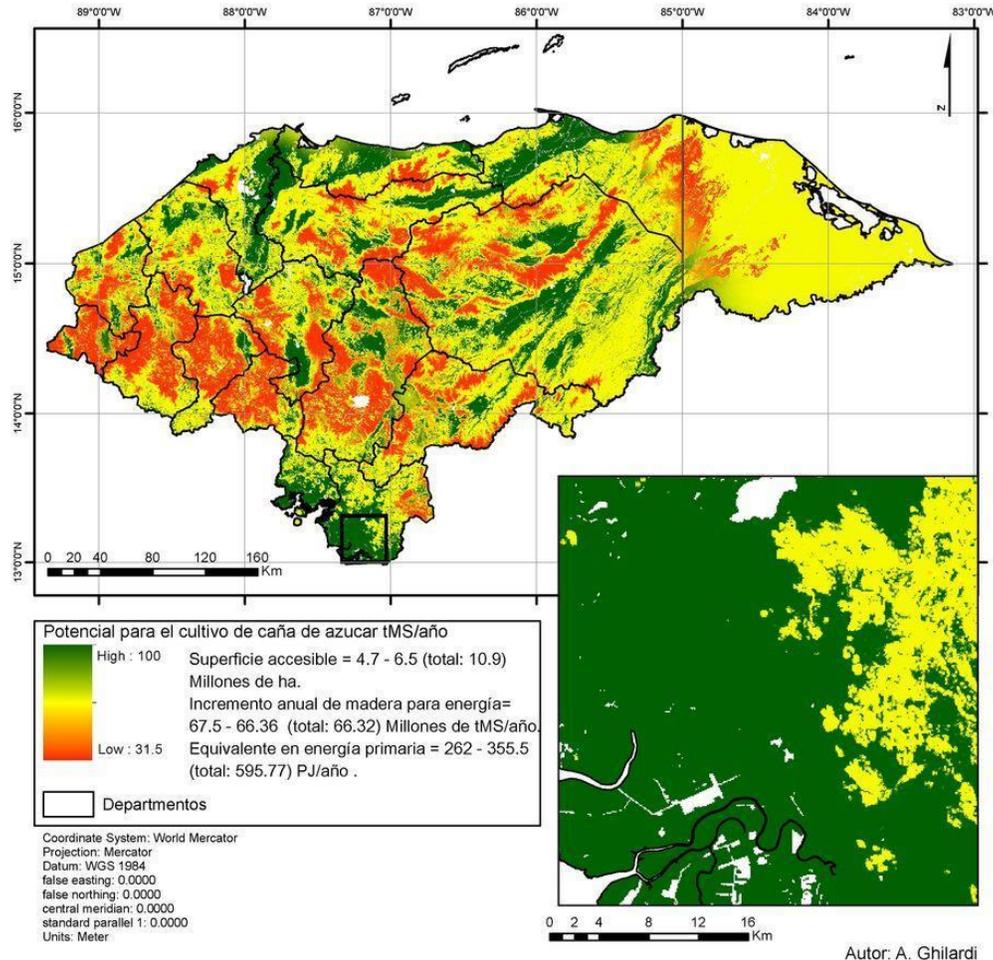
### 3.2.2. BIOMASA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Un importante porcentaje de residuos agroindustriales se utilizan en el sector industrial para cogenerar o bien para generar electricidad para la red nacional de distribución. Los principales recursos son el bagazo de caña de azúcar y algunos pastos de rápido crecimiento como el King Grass. Es importante evaluar el potencial de producción de biogás por medio

de residuos del sector pecuario, que podría ser utilizado para generar electricidad para autoconsumo o para interconexión. (Taur, Caballero, & Ghilardi, 2018, p. 17)

### 3.2.3. CULTIVOS DEDICADOS

Honduras cuenta con dos cultivos importantes los cuales pueden ser destinados a la producción de etanol y biodiésel, estos son las plantaciones de caña de azúcar y de palma de aceite. La caña de azúcar es uno de los cultivos con más realce dentro del país, ya que su terreno lo permite y aún tiene mucha más capacidad para cultivar y destinarla a la producción de energía o de bioetanol (Taur, Caballero, & Ghilardi, 2018).



**Ilustración 5 Área potencial para el cultivo de caña de azúcar**

Fuente: (Taur, Caballero, & Ghilardi, 2018)

### **3.3. MARCO REGULATORIOS DE LA LEÑA Y EL GLP**

#### **3.3.1. MARCO REGULATORIO DE LOS BOSQUES EN HONDURAS**

En Honduras las instituciones forestales gubernamentales se encuentra la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) que es la encargada de las funciones y normativas en definición de las políticas forestales; la Secretaría de Recursos naturales y Ambiente (MiAmbiente) que es responsable de dictar las políticas sobre las áreas protegidas y la vida silvestre; la Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (COHDEFOR) que es el encargado de la ejecución de todas las políticas forestales establecidas por el estado y la SAG; (Morales, 1997) y el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) tiene por objetivo establecer el régimen legal a que se sujetará toda la administración y manejo de los recursos forestales incluyendo su aprovechamiento de acuerdo al desarrollo sostenible para el interés social y ambiental.

El ICF en su ley forestal áreas protegidas y vida silvestre de Honduras establece que el manejo de los bosques ya sean públicos o privados deberán contar con un plan de manejo forestal. Para los distintos tipos de aprovechamiento que se le pueda dar ya sea no comercial (destinado al uso doméstico como combustible para la cocción de alimentos), para obras de infraestructura y para el tipo comercial. Este plan de manejo debe asegurar la sostenibilidad y productividad del bosque para evitar la deforestación total de la zona y evitar la pérdida del hábitat que se encuentre en la zona (ICF, 2007).

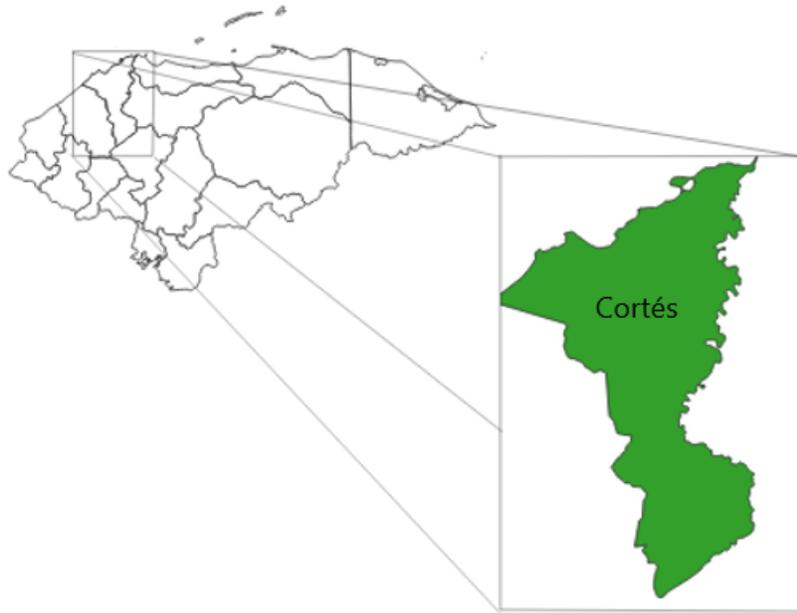
#### **3.3.2. MARCO REGULATORIO SOBRE EL USO Y MANEJO DEL GLP**

La Secretaría de Energía mediante el Acuerdo Ministerial SEN-001-2020 establece que el Gas Licuado de Petróleo (GLP) que es un combustible compuesto por uno o más hidrocarburos livianos, principalmente propano, butano, etano, metano y sus mezclas. Para su uso doméstico debe de estar compuesto en un 100 % de gas propano comercial. Puede ser comercializado o almacenado por toda persona natural o jurídica que esté inscrita ante la Secretaría de Energía, a través de la comisión Administradora de la Compra y Venta y Comercialización de Petróleo y todos sus Derivados (CAP) (Neda, 2020).

En la ley general del ambiente mediante el Decreto Número 104-93 capítulo V establece que las industrias u otras instalaciones fijas o móviles, ya sean públicas o privadas que utilicen combustibles fósiles u otros que contaminen la atmósfera estarán obligadas a establecer las medidas técnicas. Deberán incluir sistemas de tratamiento que establezcan una reducción hasta los niveles permisibles de emisiones contaminantes al medio ambiente o a la salud humana (*Ley General del Ambiente*, 1993).

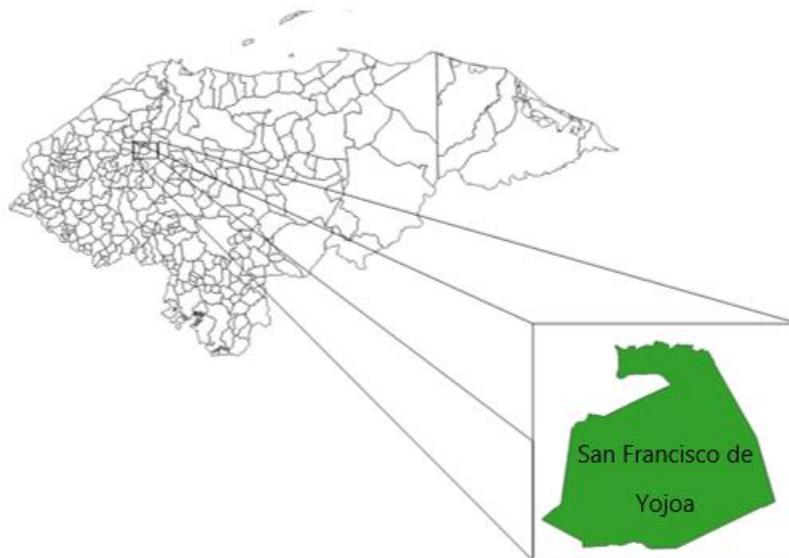
### **3.4. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto se realizará en la ONG AHLE que es una organización sin fines de lucro dedicada a brindar a los niños y jóvenes hondureños que se encuentran en situación de extrema pobreza una oportunidad de estudio y crear un futuro exitoso para ellos. Actualmente apoya a más de 70 niños y jóvenes que se encuentran viviendo en sus instalaciones (Ortiz, 2021). Se ubica en el barrio Rocíos del campo, San Francisco de Yojoa Cortés, Honduras. A una distancia de 4.3 km de la carretera Panamericana o CA5. Con las coordenadas en formato UTM X = 396529.28, Y = 1660258.32, a una elevación de 271 msnm. San Francisco de Yojoa es una zona montañosa con una temperatura promedio de 25 grados centígrados. Sus actividades económicas principales son la Agricultura, Ganadería e Industria. Siendo la ganadería la segunda más importante para el desarrollo económico estableciendo grandes extensiones de terreno para el pastoreo del ganado bovino, porcino, equino, ovino, entre otros (RedHonduras, 2020).



**Ilustración 6 Departamento donde se ubica el proyecto de investigación, Honduras**

Fuente: Elaboración propia en programa QGIS



**Ilustración 7 Municipio donde se ubica el proyecto de investigación, Cortés**

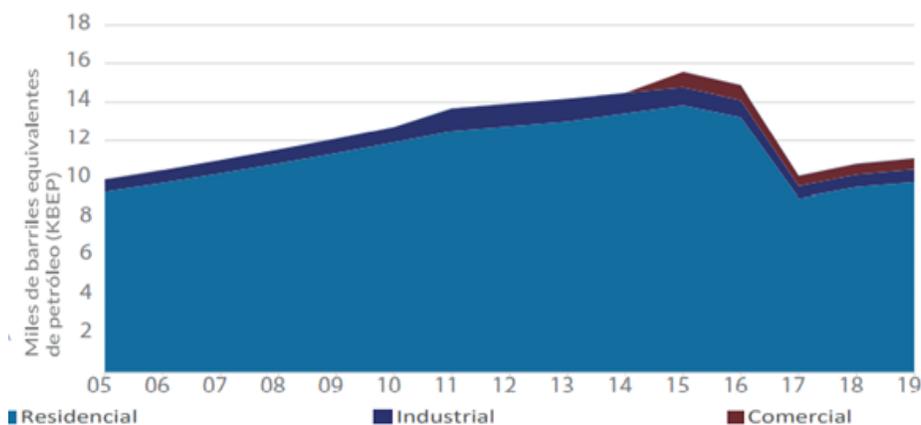
Fuente: Elaboración propia en programa QGIS

### 3.5. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN HONDURAS LEÑA Y GLP

En la presente sección se realizará un análisis de la situación actual de Honduras en cuanto al consumo de leña y GLP. Este análisis nos ayudará con el problema que se quiere abordar en la investigación para obtener datos actuales de los dos combustibles.

#### 3.1.1 Consumo de Leña para uso doméstico

El consumo total de energía en Honduras proyectado en el 2019 fue de 30,456 kilo Barriles Equivalente de Petróleo (kBEP) y más de un tercio de toda esa energía se debe al consumo de leña. Un energético primario, el cual a diario se utiliza para la cocción de los alimentos en los hogares debido a la difícil situación económica en los pobladores de la zona rural. La dependencia de la leña en los hogares es algo que difícilmente se puede frenar, este combustible se ha vuelto para el 85% de los hogares en las zonas rurales una prioridad y más del 25% de los hogares en las zonas urbanas aún utilizan leña (*Secretaria de Estado en despacho de Energía, 2019*). Este fenómeno no siempre se debe a que las personas no tengan acceso a energía eléctrica o acceso a otro combustible, mayormente ocurre por los costos de los demás combustibles que son bastante elevados y prácticamente los pobladores no pueden pagar este servicio.



**Ilustración 8 Consumo histórico de leña durante el periodo 2005-2019**

Fuente: (*Secretaria de Estado en despacho de Energía, 2019*).

Esta situación llevó al Estado de Honduras a tomar una iniciativa de mejora de consumo de leña en el sector residencial, se buscó una alternativa que fuese más eficiente y amigable con el medio ambiente. Actualmente Honduras promueve un programa el cual lleva como nombre Vida Mejor y hace hincapié en la utilización de eco-fogones los cuales se distribuyen y donan a la población. Los eco-fogones son una alternativa para la sustitución de las hornillas tradicionales, estos ayudan a reducir el consumo de leña y no emite humo dentro de los hogares. Sin embargo, la utilización de leña siempre está presente.



**Ilustración 9 Eco-Fogón**

Fuente: (Fundación VIDA, 2020)

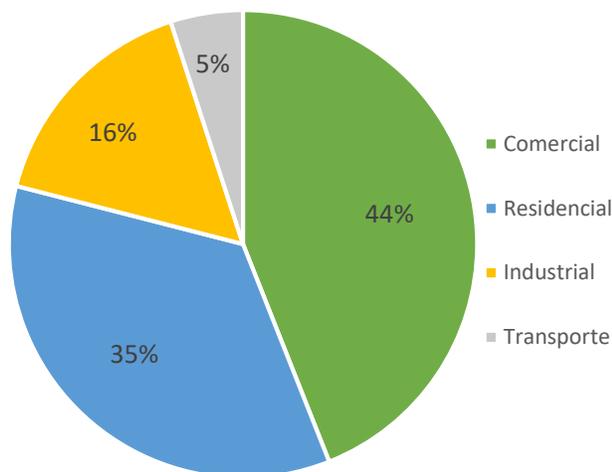


**Ilustración 10 Estufa "Tradicional" usada en el sector rural hondureño**

Fuente: (M. Ortiz, comunicación personal, 2021)

### 3.1.2 Consumo de gas licuado de petróleo para uso doméstico.

El gas licuado de petróleo es un compuesto químico que se origina de la mezcla de tres hidrocarburos los cuales son el propano, el butano y el isobutano. Honduras registró de este combustible en el 2019 una demanda total de 1,085 kBEP, siendo residencial el 35 % de esa demanda (*Secretaría de Estado en despacho de Energía, 2019*).



Total: 1,085 KBEP

**Gráfica 6 Consumo de GLP por sectores en Honduras, 2019**

Fuente: (Secretaría de Estado en despacho de Energía, 2019)

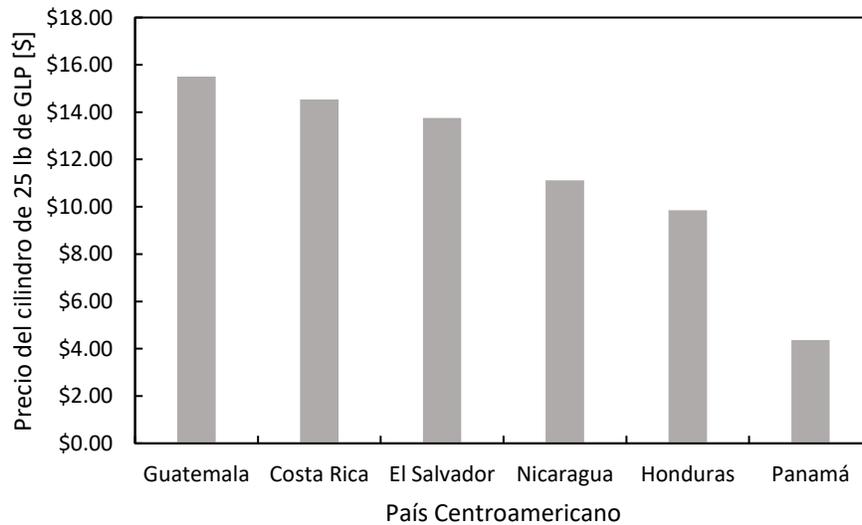
Si se hace una comparación de costos entre la leña y el GLP la (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, 2020) nos dice que si los hondureños compran la leña gastarán alrededor de L. 46.6 diarios lo cual representa el 34 % de sus ingresos mensuales. Si se comparan los costos con el GLP, el cual tiene un valor de L. 268 el cilindro de 25 lb, este combustible sale mucho más barato ya que en una familia promedio de 5 personas se gasta un cilindro al mes. Sin embargo, las familias hondureñas de las comunidades rurales no compran la leña porque la puede recoger de los bosques cercanos a sus viviendas o de sus mismas propiedades. A diferencia del GLP que sí contiene un precio y va variando con los meses, por ejemplo, el precio que se le dio al GLP doméstico en el 2019 fue de L. 268 por un cilindro de 25 lb. Si se habla de una fecha más actualizada como lo es 2021 el precio del cilindro de 25 lb de GLP fue de L. 238.13, a nivel nacional es un precio que muchas veces las personas no pueden pagar o simplemente prefieren ahorrar ese dinero para otras necesidades. Cabe recalcar que en agosto del año 2021 a nivel centroamericano Honduras contó con el segundo precio más bajo de la región (Referirse a gráfico 1), en cilindros de 25 lb con \$9.86 y Guatemala fue el más alto con \$15.51 y aun así se le es difícil a muchos hondureños poder adquirir los cilindros de GLP (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2021).

En la siguiente tabla se pueden observar el poder calorífico de la leña y el GLP propano que son dos de los combustibles utilizados en las viviendas hondureñas, así como también el poder calorífico del Biogás que se presenta como una alternativa de mejora para los hogares de las zonas rurales.

**Tabla 1 Poder calorífico según tipo de combustible**

Tipo de combustible	Poder calorífico inferior MJ/kg
Leña	22.78
GLP propano	123.88
Biogás	23.30

Fuente: (Carrasco, 2015).



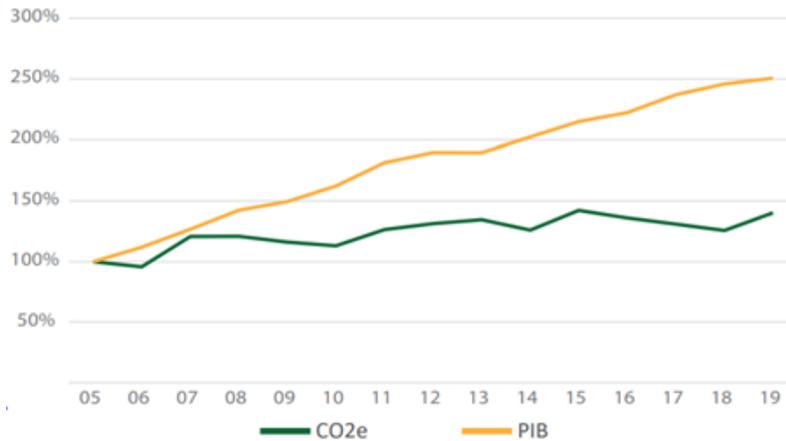
**Gráfica 7 Relación de precios del cilindro de 25 lb en América Central durante agosto 2021**

Fuente: (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2021)

### 3.5.1. ANÁLISIS AMBIENTAL EN HONDURAS

Cada país contribuye al calentamiento global de la Tierra y Honduras no es la excepción, uno de los factores que más contribuye a esta causa es la concentración y el tiempo en que los gases de efecto invernadero se quedan en la atmósfera. Existen varios gases de efecto invernadero entre ellos están el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el ozono (O<sub>3</sub>) y finalmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO<sub>2</sub> es el gas más comúnmente emitido en el mundo ya que ingresa a la atmósfera cuando ocurre la quema de combustibles fósiles o incendios de bosques y quema de residuos sólidos. El CO<sub>2</sub> también es resultado de actividades que requieren reacciones químicas como la fabricación de cemento que es un rubro importante para la construcción. Los demás gases son comparados con el dióxido de carbono para realizar análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero en un determinado lugar. (*Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2021*).

El sector energía en Honduras es el que más contribuye a las emisiones de CO<sub>2</sub> en el país ya que es la principal fuente para la realización de todas las actividades económicas y productivas. Esto lleva a la conexión que se tiene entre el PIB y las emisiones. Durante el 2019 las emisiones alcanzaron 10,000 Gg de CO<sub>2</sub>eq, a continuación, se muestra una gráfica la cual contiene el crecimiento del PIB y de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energía durante el periodo 2005-2019. La gráfica demuestra el crecimiento que se tiene entre estas dos variables que van de la mano, si el PIB crece de igual forma lo hace el CO<sub>2</sub> pero a diferente velocidad (Referirse a la ilustración 11).



**Ilustración 11 Crecimiento del PIB y de emisiones del sector energía para el período 2005 – 2019 en Honduras**

Fuente: (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2021).

### 3.6. BIODIGESTOR

El biodigestor es un recinto o tanque de cualquier forma, tamaño o material, en el cual se almacena agua mezclada con los residuos de la materia orgánica procedente ya sea de las actividades de agricultura, ganadería y de la industria agroalimentaria. Este recinto o tanque debe de estar totalmente cerrado, hermético e impermeable para que luego de un periodo de tiempo ocurra la descomposición de la materia en total ausencia de aire y se pueda generar biogás y biol (*Zuñiga,2007*).

#### 3.6.1. TIPOS DE BIODIGESTORES

Los biodigestores o plantas de biogás para el aprovechamiento de los residuos orgánicos se clasifican principalmente en cuatro tipos.

##### a) *Biodigestor tubular o de globo*

Este tipo de biodigestor está conformado por una geomembrana o bolsa de PVC o polietileno en la cual en su parte inferior se almacenará la materia en descomposición y en su

parte superior se almacena el gas. Debe de contar con una entrada para cargar la materia y una salida para la descarga del biol o abono. Cuenta con conductos o tuberías de PVC que conectan la parte superior del biodigestor para la extracción del biogás producido. Se recomienda este tipo de biodigestor para las zonas donde se cuenta con temperaturas que se encuentren entre los 25 y 30 grados centígrados. Este tipo de biodigestor tiene como ventajas los bajos costos de fabricación, fácil transportación, poca sofisticación de construcción, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Como desventajas tiene su corto tiempo de vida útil, alta susceptibilidad a ser dañado (Zuñiga,2007).



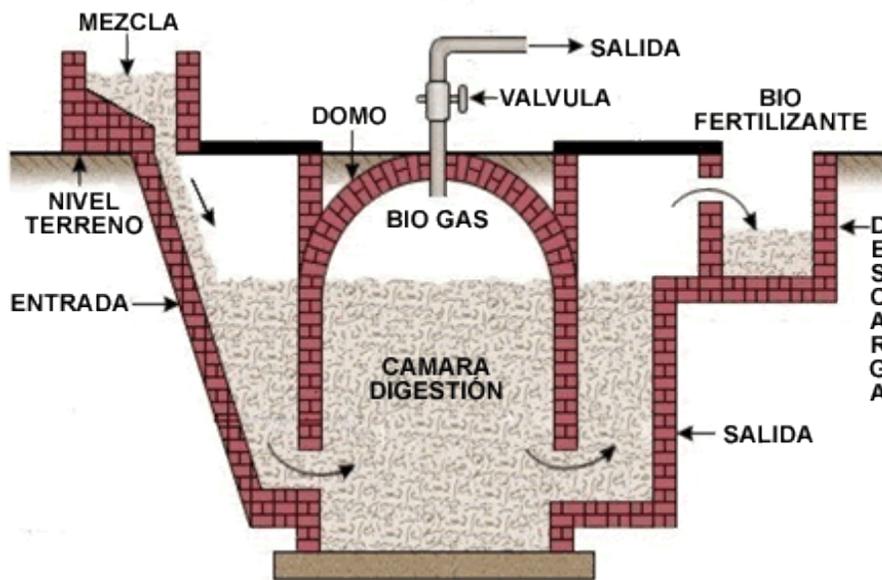
**Ilustración 12 Biodigestor tipo tubular**

Fuente:(López , 2017)

#### *b) Biodigestor o plantas de domo fijo*

Este tipo de biodigestores consiste en una cámara o reactor construido bajo tierra con ladrillos, piedra u hormigón. En la parte del domo fijo o inmóvil cerrado es donde se almacena el biogás en la parte superior y en la parte inferior se encuentra la mezcla del agua y el estiércol. Durante la producción de biogás, la mezcla de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación y cuando se extrae el gas, la mezcla vuelve hacia el biodigestor. El gas dentro de este tipo de biodigestores debe ser liberado continuamente para reducir la presión interna. Es debido a eso que debe ser implementado en instalaciones donde el consumo sea continuo o que se esté almacenado el biogás en un depósito aparte. Las ventajas de este tipo de biodigestores

es que tiene una vida útil de 20 años, debido a que no posee partes móviles o metálicas que puedan deteriorarse por oxidación. Entre sus desventajas se encuentra que si la cúpula del biodigestor no se encuentra correctamente sellada podría provocar fugas del gas debido a las altas presiones que se puedan tener en el interior, otra desventaja es que la presión de gas no es constante. (Ver ilustración 13) (Zuñiga,2007).



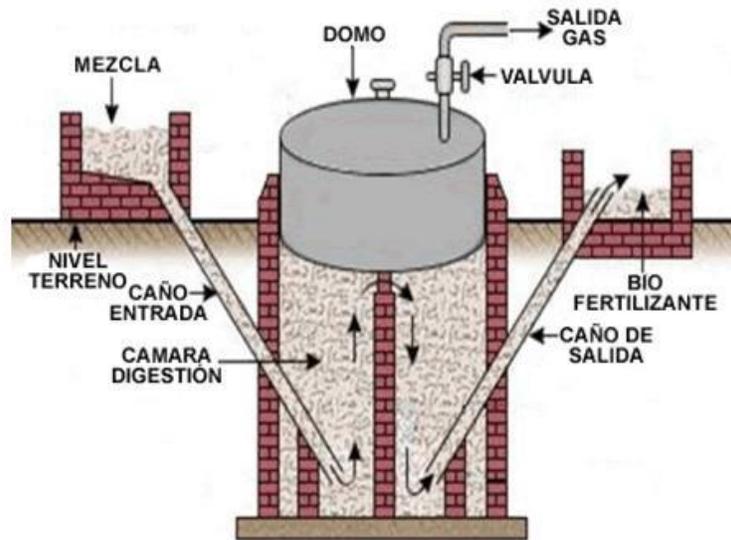
**Ilustración 13 Esquema de un biodigestor de domo fijo**

Fuente: (Zuñiga,2007).

### c) *Biodigestor de tambor flotante*

Este tipo de biodigestor consiste en un tambor flotante móvil que almacena el gas producido por toda la mezcla. El tambor flotante se encuentra directamente sobre la mezcla de fermentación este recipiente se levantará o bajará, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado. Como ventajas es que cuenta con una vida útil de aproximadamente 20 años debido a que está hecho de concreto durante la extracción del gas su presión es constante. Como desventajas de este tipo de biodigestores es que debido a los materiales necesarios para su construcción requiere de una alta inversión. Debido a que la campana para el almacenamiento del gas es de metal esta

requiere de mantenimientos periódicos o constantes por lo cual incrementa los costos de operación. (Ver ilustración 14) (Zuñiga,2007).

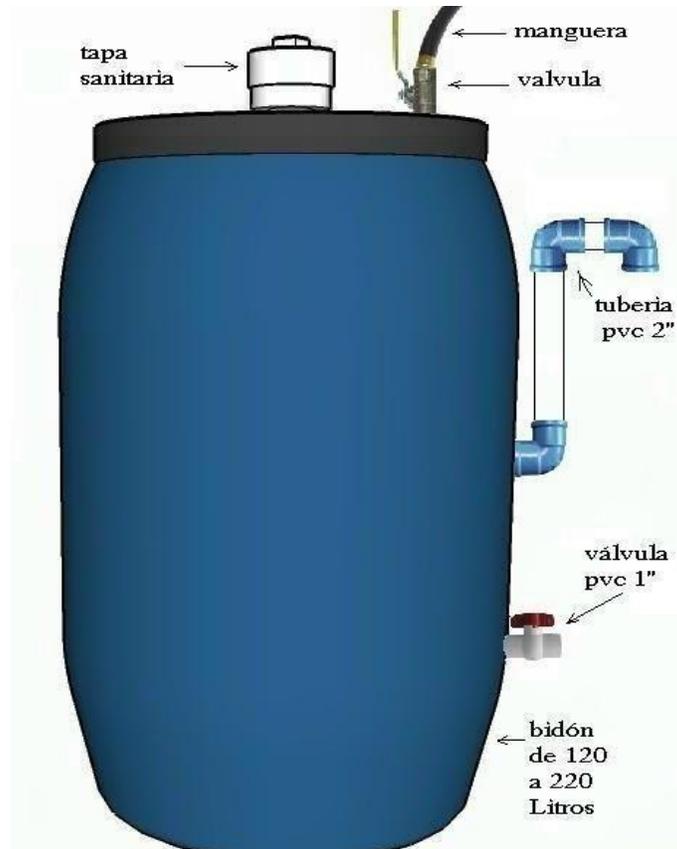


**Ilustración 14 Esquema de domo flotante**

Fuente: (Zuñiga,2007).

#### *d) Biodigestor de sistema Batch o discontinuo*

Este tipo de biodigestores consiste en un tanque hermético con una sola salida de gas. Para el funcionamiento de este tipo de biodigestores solo es necesario cargar de mezcla una sola vez y luego se realiza la descarga del biol hasta que este ha dejado de producir biogás. Generalmente se implementan estos tipos de biodigestores cuando la materia no está continuamente disponible o cuando se requieren hacer algún tipo de estudios para los residuos que se encuentren en una determinada zona. Teniendo en cuenta que también se puede hacer una mezcla de residuos para potenciar la producción de biogás (Chavez,2018).



**Ilustración 15 Sistemas tipo batch**

Fuente: (Vindell, Melgara, Espinoza, 2017).

### 3.6.2. PARTES DEL BIODIGESTOR

#### a) *Tanques de carga.*

Esta es la entrada por donde se ingresará la mezcla de agua y materia orgánica al biodigestor. Generalmente están contruidos de ladrillo o con bloques de cemento en sus laterales y en la superficie interna lleva cemento aplanado. En esta parte será donde se preparará toda la mezcla para luego ser introducida al interior del biodigestor por medio de tubos PVC (Zuñiga,2007).

#### *b) Tanque de descarga*

Está construido de igual manera que el tanque de carga a diferencia que este ducto es utilizado para la extracción de los lodos residuales luego que ha ocurrido la digestión anaeróbica dentro del biodigestor. Para realizar la descarga de material que ya ha pasado por su periodo de producción se efectúa por el efecto de vasos comunicantes que consiste en que, al momento de cargar el digestor, la presión que hace el material de entrada expulsa por el tubo de descarga una cantidad igual de material (Zuñiga,2007).

#### *c) Tanque de almacenamiento de biogás*

Este tanque de gas va a depender según el tipo de biodigestor para los biodigestores fijos y de domo flotante el tanque de almacenamiento consiste en una construcción circular o cuadrada de ladrillo con un acabado por dentro de cemento pulido para evitar las fugas. Para los biodigestores de globo consistirá en una bolsa de material resistente a la corrosión y al medio agresivo. Para los biodigestores tubulares y de sistema discontinuo de barriles el gas es almacenado en la parte superior del almacén. El propósito de estos tanques es almacenar el gas producido por el digestor con el fin de tenerlo a disposición cuando se requiera gas (Zuñiga,2007).

#### *d) Manga tubular*

Es la parte principal de los biodigestores tubulares ya que funciona para almacenar la materia prima que estará en descomposición y el biogás que se producirá luego de haber cumplido su tiempo de retención. La manga consiste en un polietileno tubular que por un extremo se encuentra el tanque de entrada y por el otro extremo el tanque de salida. En la parte superior de esta manga cuenta con un orificio para la extracción de biogás mediante tuberías.



**Ilustración 16 Manga Tubular para biodigestor de flujo continuo**

Fuente: Elaboración propia

*e) Línea de conducción*

Estas líneas son utilizadas para transportar el biogás desde el biodigestor hasta el lugar donde se consumirá el biogás. Generalmente para las líneas de conducción se utilizan mangueras de PVC, debido a que este material no es afectado por la acción del ácido sulfhídrico (Zuñiga,2007). Para establecer las dimensiones de las líneas de conducción se debe tomar en cuenta:

- El flujo del gas que se desea transportar.
- La distancia que existe entre la planta y el lugar de uso.

#### *f) Válvulas*

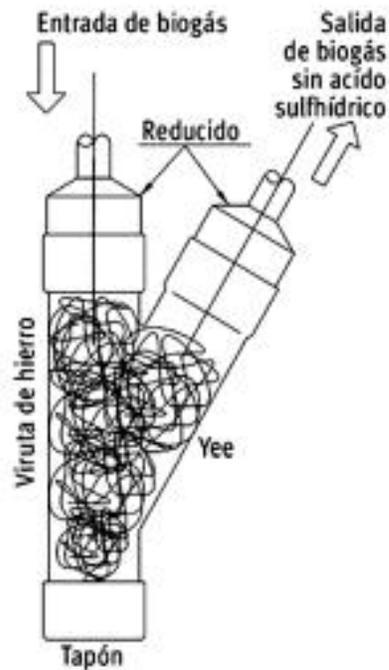
El sistema de líneas de conducción debe contar como mínimo dos válvulas para gas, la primera se debe de instalar al comienzo de la conducción y sobre el niple de salida de biogás del biodigestor. La segunda válvula se instala al final de la línea de conducción o antes de conectarse al lugar de uso del biogás. El diámetro de las válvulas debe ser igual al diámetro de las tuberías es recomendable que el tipo de material de estas válvulas sea de PVC ya que son resistentes a la corrosión por el ácido sulfhídrico (Zuñiga,2007).

#### *g) Trampas*

El sistema de líneas de conducción debe tener instalado a lo largo de la línea trampas de ácido sulfhídrico y de agua las cuales sirven para la purificación del biogás. En los casos cuando el biogás se está destinando a la producción de electricidad o para la cocción de alimentos. Las trampas que se deben de colocar son las mismas para eliminar o disminuir el contenido de ácido sulfúrico para proteger los equipos de las corrosiones al igual la reducción del contenido de agua presente en el gas como resultado del proceso de digestión (Zuñiga,2007).

#### *h) Trampas de ácido sulfhídrico*

Están construidas por un recipiente el cual debe de estar completamente hermético para evitar las fugas de gas. Dentro de este es necesario rellenarlo con material de hierro finamente dividido ya puede ser virutas de hierro o esponjas de cocina. Mediante este tipo de material debe de circular el gas para que reaccione con el metal y se deposite el exceso (Zuñiga,2007).



**Ilustración 17 Trampa de ácido sulfhídrico**

Fuente (Santana, 2008).

*i) Trampas de agua*

Se debe instalar a lo largo de las líneas de conducción. A diferencia de la trampa de sulfhídrico la trampa de agua no necesita en relleno en el interior del recipiente, pero si es necesario que este tenga un grifo de purga para poder evacuar periódicamente el agua que se acumule en el recipiente. El objetivo de estas trampas de agua es separar el agua que viaja a lo largo de las tuberías durante el flujo del gas (Zuñiga,2007).

**3.6.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS BIODIGESTORES**

*a) Ventajas de los biodigestores*

Reciclaje y contaminación: Mediante la utilización de los biodigestores se permite el reciclaje de los desechos orgánicos, ya sea que provienen de las cocinas, actividades de la

agricultura, o la utilización de las excretas de los animales en los sistemas pecuarios. Reduciendo así la contaminación ambiental y obteniendo un beneficio para las viviendas (Castro, 2019).

**Obtención de biogás:** La producción de biogás por medio de biodigestores, en las zonas rurales representa una fuente de energía eficiente y económica. Principalmente los lugares donde la cobertura eléctrica por parte de otras fuentes no es accesible. Teniendo el biogás el cual brinda una diversidad de usos como ser alumbrado, producción de energía eléctrica por medio de un generador, transporte mediante motores de combustión adaptados para este tipo de combustible y para la cocción de alimentos. Tomando en cuenta que en las zonas rurales donde no hay electrificación el consumo de leña como combustible para la cocina es muy importante ya que es la fuente de energía más accesible lo cual impacta al medio ambiente. Teniendo la disponibilidad de biogás se puede ayudar a reducir la demanda de leña y reducir el impacto y ayudar a la conservación de la biodiversidad (Castro, 2019).

**Producción de fertilizante:** Luego que la materia orgánica dentro del biodigestor deja de producir biogás esta debe ser extraída, la cual puede ser utilizada como fertilizante orgánico sólido (biofertilizante) y líquido biol. El cual es rico en nitrógeno, fósforo y potasio. Y así ayudar a reducir los costos de la producción agrícola que dejaría de comprar fertilizantes químicos que son caros y dañan el medio ambiente (Castro, 2019).

**Salubridad:** Al realizar un manejo adecuado de los desechos orgánicos se reducen los riesgos que estos representan para la salud de las personas y de los animales. Se ha determinado que el 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de biodigestión (Castro, 2019).

#### *b) Desventajas de los biodigestores*

**Disponibilidad de agua:** Un sistema de biodigestor es exigente en cuanto a la disponibilidad de agua, ya que al momento de alimentar el biodigestor se debe de realizar una mezcla la cual la tercera parte debe de ser agua (Castro, 2019).

**Temperatura:** Para la correcta producción de biogás los biodigestores deben de mantener una temperatura constante. Está temperatura debe de estar cerca a los 35 grados centígrados o por lo menos estar dentro de los rangos de 20 y 60 grados centígrados. Por lo tanto, se debe de

requerir de una construcción extra que proteja al biodigestor o requiera de un aporte externo que le pueda inducir calor (Castro, 2019).

Subproductos dañinos: Durante la producción de biogás se produce ácido sulfhídrico el cual es tóxico y corrosivo para algunos materiales como el metal. Se producen siloxanos que generan dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) el cual es abrasivo para maquinarias y sus componentes. Lo cual para su producción va depender del tipo de materia orgánica que se esté utilizando como materia prima (Castro, 2019).

Acumulación de desechos: En el sitio donde está ubicado el biodigestor se acumulan gran cantidad de desechos y trae consigo problemas logísticos y sanitarios. Lo cual debe de tomarse en cuenta al momento de diseñar el biodigestor para evitar problemas de contaminación al medio ambiente y a la salud de las personas (Castro, 2019).

Riesgos de explosión: Los biodigestores deben contar con un tanque de almacenamiento de biogás el cual es un combustible. Este tanque de almacenamiento puede implicar cierto riesgo por explosiones si no se toman las debidas normas de seguridad para gases combustibles, desde la fase de diseño, construcción y operación (Castro, 2019).

Costos: Dependiendo el tipo de biodigestor que se instale los costos por instalación y construcción pueden ser elevados. Cada uno requiere materiales de diseño distintos, tomando en cuenta que los costos por mantenimiento y manejo son relativamente económicos (Castro, 2019).

### 3.7. BIOGÁS

Para la presente investigación el combustible que se desea generar es el biogás por medio de un biodigestor y como materia prima se utilizará el estiércol de ganado bovino. El biogás se produce mediante la degradación anaeróbica de los residuos orgánicos que se convierten en gas. Este gas está compuesto principalmente por dos gases los cuales son el metano y el dióxido de carbono. (World Bioenergy Association, 2020) menciona que en el 2018 el biogás tuvo un auge de producción con 59.3 billones m<sup>3</sup>, hubo un crecimiento global de un 9% durante el periodo del 2000-2019.

#### 3.7.1. RESIDUOS PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Existen diferentes alternativas de residuos que se pueden utilizar para la producción de biogás entre ellas están:

- Residuos ganaderos y agroindustriales
- Aguas residuales urbanas
- Residuos orgánicos domésticos
- Lodo de las estaciones de aguas residuales
- Plantas acuáticas (sargazo)

La que se estará estudiando a lo largo de la investigación es la de residuos ganaderos, ya que es con la que se cuenta para prototipar el biodigestor. Si se habla de estiércol de animales se debe tomar en cuenta que sus parámetros son distintos, ya que la degradación depende del tipo de animal y de la alimentación de cada uno de ellos. La producción de biogás y el rendimiento que tendrá el biodigestor depende del volumen del estiércol y del tipo. A continuación, se muestra una tabla con las diferentes especies de animales y el rendimiento que se tendría si se utiliza el estiércol de cada uno de ellos (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.).

**Tabla 2 Volumen de estiércol producido y potencial de rendimiento**

<b>Especie</b>	<b>Peso vivo</b>	<b>Kg estiércol/día</b>	<b>l/kg S.V.</b>	<b>% CH4</b>
Cerdos	50	4.5-6	340-550	65-70
Vacunos	400	25-40	90-310	65
Equinos	450	12-16	200-300	65
Ovinos	45	2.5	90-310	63
Aves	1.5	0.06	310-620	60
Caprinos	40	1.5	110-290	.....

Fuente: (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.)

### 3.7.2. ASPECTOS QUÍMICOS DEL BIOGÁS

En el siguiente apartado se analizará los aspectos químicos y parámetros importantes que se requieren para la producción de biogás. Su composición química se base en los siguientes gases:

- Metano (CH<sub>4</sub>) con una proporción que ronda entre un 50% y un 70%.
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)
- Hidrógeno (H<sub>2</sub>)
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>)
- Oxígeno (O<sub>2</sub>)
- Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S)

En el biogás existe una relación óptima la cual es de carbono/nitrógeno que se utiliza como guía para el crecimiento o la disminución de las bacterias metanogénicas. La relación adecuada es de 30:1, pero si la relación es amplia es de 40:1, por consiguiente, una relación estrecha es de 10:1.

El siguiente parámetro se trata de la acidez, como referencia se toma el estiércol bovino ya que es el que se estará utilizando en el biodigestor. Los valores de acidez óptimos rondan entre 6.5 y 7.5. Se debe tomar en cuenta que luego el proceso de fermentación se estabiliza y ahí los valores del pH rondaran entre 7 y 8 reg. (Referirse a tabla 3)

**Tabla 3 Estado de fermentación anaeróbica según el valor del pH que presente la carga**

Valor pH	Estado de fermentación anaeróbica
6.5-7.5	Óptimo
pH>8	Carga corre riesgo de putrefacción
pH<6	Puede bloquear la producción de metano

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.)

Si el valor del pH se encuentra óptimo los ácidos volátiles rondaran entre 600-1,500 mg/l y la alcalinidad rondará entre 1,500-5,000 mg/l: CaCO<sub>3</sub>. Si los valores se presentan de esta manera las bacterias metalogénicas trabajan óptimamente y se produce biogás de una manera eficiente (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.).

### 3.7.3. BIOGÁS Y SUS DIVERSAS APLICACIONES

El biogás tiene muchas ventajas y una de ellas es que puede ser utilizado para diversas actividades, lo mejor es que es una fuente de energía sin costo y no requiere habilidades especiales para poder darle mantenimiento a la fuente de donde se está obteniendo. Es por lo que el biogás puede formar parte de la generación de energía eléctrica, puede producir calor, puede ser utilizado como combustibles en los automóviles e incluso para uso doméstico.

- Como uso doméstico: el biogás se puede utilizar en la cocina para la cocción de los alimentos. Es muy fácil la adaptación que se puede realizar del biodigestor a una estufa de gas, con 1m<sup>3</sup> de biogás se puede cocinar 12 platos de comida al día. Otra aplicación

que se le puede dar en los hogares es para las refrigeradoras, 1m<sup>3</sup> puede funcionar para suplir 10 horas de refrigeración.

- El biogás para motores de combustión interna: el biogás también es utilizado para motores de combustión interna ya que tiene un octanaje que varía de 100 a 110. Sin embargo, tiene sus desventajas como su baja velocidad de encendido o el deterioro de las válvulas de admisión y de escape que la causa la proporción de H<sub>2</sub>S.
- Muchas veces el biogás también es utilizado para activar generadores de electricidad lo cual es bastante factible

Fuente: (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.).

**Tabla 4 Consumo y eficiencia de distintos artefactos utilizando biogás**

<b>Artefacto</b>	<b>Consumo</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Quemador de cocina	300-600 l/h	50-60
Lámpara a mantilla	120-170 l/h	30-50
Heladera de 100 L	30-75 l/h	20-30
Motor a gas	0.5 m <sup>3</sup> /kWh o 0.5 m <sup>3</sup> /Hph	25-30
Quemador de 10 kW	2 m <sup>3</sup> /h	80-90
Infrarrojo de 200 kW	30 l/h	95-99
Cogenerador	1 kW electricidad 0.5 m <sup>3</sup> /kWh: 2 kW térmica	Hasta 90

Fuente: (Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático , s.f.)

#### 3.7.4. EL BIOGÁS Y SU IMPACTO AMBIENTAL

El biogás cuenta con muchas ventajas y una muy importante es que contribuye al cuidado del medioambiente. El metano es uno de los gases de efecto invernadero que afecta descontroladamente a la atmósfera. Según la (Agencia de Protección Ambiental de Estados

Unidos, 2021) el metano se responsabiliza del 25 % del calentamiento global desde la Revolución Industrial y ha tenido un aceleramiento de emisiones en el periodo de 2007-2014. El biogás evita que este gas se emita descontroladamente a la atmósfera ya que realiza un tratamiento anaerobio con diversa materia prima como el estiércol de ganado vacuno. Este estiércol es alto en emisiones de metano y los biodigestores tienen la posibilidad de transformarlo en biogás o fertilizante para plantas. En la tabla 5 se observa el incremento que ha tenido el metano a lo largo de los años y ha sido el que más rápido ha incrementado a comparación de otros.

**Tabla 5 Concentraciones de gases de efecto invernadero**

<b>Gas de Efecto Invernadero</b>	<b>Año 1750</b>	<b>Año 2012</b>	<b>Incremento Absoluto</b>	<b>Incremento Porcentual</b>
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	280 ppm	392.6 ppm	112.6 ppm	40.20 %
Metano CH <sub>4</sub>	700 ppb	1,874 ppb	1174 ppb	167.70 %
Óxido de Nitrógeno N <sub>2</sub> O	270 ppb	324 ppb	54 ppb	20.00 %

Fuente: (Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo, s.f.)

El biogás parece ser una buena solución sostenible alrededor del mundo para el desarrollo de programas que beneficien el medio ambiente y para la implementación de tecnología limpia. Existen diversos países que se destacan por la producción de biogás y la contribución a evitar emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Finlandia es uno de los que más se destaca ya que cuenta con siete plantas para la producción de biogás.

En Sudamérica se destaca una planta de biogás llamada Doña Juana la cual se encuentra ubicada en Bogotá, Colombia. Esta planta ha instalado 290 pozos en los residuos sólidos para poder aspirar el gas mediante tubería y poder obtener 11,700m<sup>3</sup> de biogás por hora. La planta ha contribuido al medio ambiente y a su país eliminando 800 mil toneladas de dióxido de carbono (Cruz, 2021).



**Ilustración 18 Relleno Sanitario Doña Juana**

Fuente: (45 segundos, 2021)

Doña Juana cuenta con tres centrales de energía eléctrica de biogás, la central I que cuenta con dos fases y genera 5 MW, central II que genera 9.8 MW y la última central con 9.88 MW (Biogás Doña Juana, 2017).

## IV. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se definirá los métodos y procedimiento que conlleva la realización de la investigación. De igual manera se definen las variables de investigación que serán útiles para los cálculos a realizar.

### 4.1. ENFOQUE

Para la metodología es necesario poder definir correctamente el enfoque que se le dará a la investigación. Se emplearán procesos metódicos y empíricos con el objetivo de generar un mayor conocimiento. El objetivo del enfoque es poder describir mediante el alcance, explicar y finalmente poder comprobar por medio del estudio.



**Ilustración 19 Metodología de la Investigación**

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de (Hernández Sampieri et al., 2014)

## 4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se muestran las variables dependientes y las variables independientes que son las que afectan de manera independiente a los resultados para llegar a las variables dependientes establecidas en este estudio.

### 4.2.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Esta es la variable que va a depender de los efectos de las variables independientes ya sea que estas afecten de una manera positiva o negativa durante el estudio o investigación.

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

El Valor Actual Neto es un indicador financiero que se utilizará para conocer la factibilidad económica del proyecto. Si al ser implementado durante la medición de los flujos de los futuros ingresos y egresos y al descontar la inversión inicial nos da un VAN negativo (menor a cero) el proyecto no es rentable. Si el VAN es igual a cero los beneficios que obtengamos de nuestro proyecto serán igual a nuestra inversión. Y si el VAN es positivo (mayor a cero) significara que el proyecto es rentable y se está obteniendo una ganancia adicional (Business, s. f.).

$$VAN = \sum_{n=0}^N \frac{I_n - E_n}{(1 + i)^n}$$

#### **Ecuación 1 Valor Actual Neto**

Donde:

VAN: Valor presente neto [\$]

N: número de periodos [-]

n: periodo de evaluación [-]

In: Ingresos de efectivo [\$]

En: Egresos de efectivo [\$]

i: tasa de interés [%]

(Muñoz, s. f.)

### b) *Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)*

La Tasa Interna de retorno se utiliza para calcular y determinar la viabilidad o interés que nos ofrece una inversión y determinar si es viable o no, con la cual podemos permitir reducir los riesgos y planificar un modelo de negocios favorable.

$$TIR = \sum_{n=0}^N \frac{Q_n}{(1+i)^n}$$

#### **Ecuación 2 Tasa Interna de Retorno**

TIR: Tasa Interna de Retorno [%]

N: Número de periodos [-]

n: periodo de evaluación [-]

Qn: Flujo de caja en el periodo n [\$]

i: valor de la inversión inicial [\$]

(Ramírez, 2021)

### c) *Producción de Biogás*

El biogás se obtiene gracias a la descomposición de la materia orgánica que ocurre por la acción de las bacterias anaeróbicas y metanogénicas que comienzan el proceso bioquímico en ausencia de oxígeno. Se produce un gas compuesto por CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y otros gases en pequeñas proporciones, el biogás puede ser usado bajo ciertas condiciones como combustible.

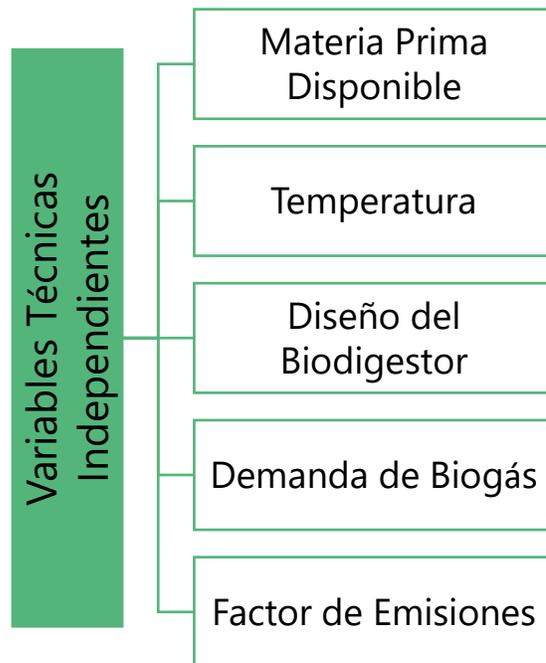
### d) *Contaminantes Ambientales producidos*

La contaminación ambiental se produce por los contaminantes gaseosos más comunes emitidos por las actividades diarias del ser humano siendo el dióxido de carbono, el monóxido de

carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Tomando en cuenta que la producción de estos gases se da por la quema de combustibles fósiles y sus derivados, entre otras actividades.

#### 4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Mediante las variables independientes se llegará a conocer o a determinar los resultados de la variable dependiente a la cual esta esté asociada dentro del estudio o investigación.



**Ilustración 20 Variables Técnicas Independientes**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 21 Variables Económicas Independientes**

Fuente: Elaboración Propia

*a) Temperatura Ambiente y de Materia Prima*

La temperatura es una magnitud con la cual se mide el nivel térmico de un objeto, sustancia o ambiente. Para la cual se utilizan distintas escalas: La escala Celsius también conocida como escala centígrada, Escala Fahrenheit, Kelvin, Rankine. Los procesos de fermentación anaeróbica pueden darse en un amplio rango de temperatura siendo estas de 3 °C a 70 °C. Dándose estos procesos con mayor facilidad cuando se tienen temperaturas mayores a los 25 °C. Esta variable afectará de manera positiva o negativa a nuestras variables VAN o TIR, ya que de esto dependerá la producción de Biogás.

*b) Diseño del biodigestor*

Para el proceso de diseño y modelado de un biodigestor se deben de tomar en cuenta todas las condiciones físicas del terreno, las condiciones químicas de la materia orgánica a utilizar, condiciones ambientales del lugar donde se requiere la instalación y de la inversión que se pueda

realizar para el proyecto. Tomando en cuenta que cada tipo de biodigestor tiene su forma o tipo de diseño.

*c) Materia prima disponible*

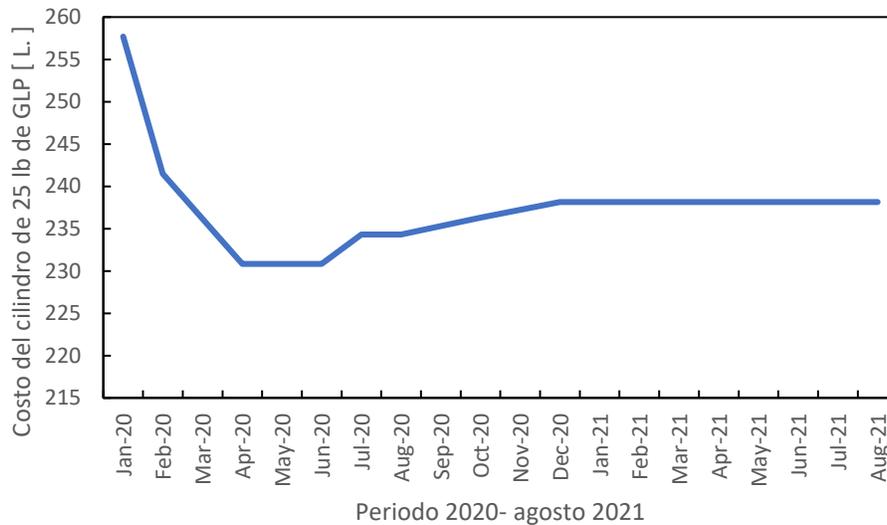
La materia prima disponible es un factor importante para la producción de biogás y está dependerá del tipo de materia orgánica a utilizar las cuales pueden ser residuos de la agricultura, residuos de la cocina y las excretas de los animales. Se debe tomar en cuenta cuál es la cantidad disponible de materia prima para establecer el dimensionamiento del tipo de biodigestor a fabricar. Esta variable afectará de manera positiva a nuestras variables dependientes VAN y TIR, ya que debido a su disponibilidad se podrá tener los ingresos necesarios para seguir en operación.

*d) Demanda de Biogás*

Para la instalación de un biodigestor ya sea que se destine para una industria o para uso de una residencia es importante que se tome en cuenta cuál es la demanda de biogás que se tendrá para evaluar cuál es el porcentaje de esa demanda que se podrá cubrir con el sistema de biogás. Esta variable afecta de manera positiva a las variables dependientes VAN y TIR debido a que se podrá utilizar todo el biogás producido lo que genera mayores ingresos.

*e) Precios del GLP*

El gas licuado de petróleo es una mezcla de propano y butano comprimido hasta que se vuelve líquido. El cual los precios de este combustible siguen subiendo al paso de los años debido a que es un producto derivado del petróleo el cual debido a que las reservas cada vez son menos y no se puede incrementar la producción. Esta variable afecta de manera positiva nuestras variables dependientes VAN y TIR debido a que un incremento en los precios de esta aumentaría el ahorro que se está haciendo por consumo de biogás.



**Gráfica 8 Precio Mensual de Cilindro de 25 lb de GLP en Honduras 2020-2021**

Fuente: (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2021)

*f) Vida Útil del biodigestor*

La vida útil es el tiempo que se espera que el biodigestor esté en funcionamiento es decir que se esté produciendo biogás. La vida útil de un biodigestor va a depender del diseño de biodigestor que se esté implementando, ya que para cada tipo se necesitan materiales de almacenamiento diferentes. El biodigestor de domo fijo tiene una vida útil de 20 años, el biodigestor de tambor flotante tiene una vida útil mayor a 15 años y el biodigestor tubular o de globo tiene una vida útil de 5 años la cual es inferior a los anteriores debido a la resistencia de los materiales utilizados.

*g) Inversión inicial*

La inversión inicial es la cantidad de dinero o capital necesario con el que se cuenta para iniciar y entrar en operación el proyecto o empresa. Esperando que al entrar en operación se empiece a generar ganancias la cual al paso de los años debe de elevar los costos antes de que termine su vida útil. Esta variable afectará de manera negativa nuestras variables dependientes

VAN y TIR debido a que representa el mayor gasto que se debe de realizar para entrar en el proyecto.

#### *h) Operación y Mantenimiento*

Para que un proyecto en el cual se esté realizando una actividad o proceso constantemente los equipos o estructuras requerirán de un mantenimiento ya sea preventivo o correctivo para que puedan seguir funcionando sin tener un cambio en la producción por mal estado de los equipos. Esta variable afectará de manera negativa nuestras variables dependientes VAN y TIR debido a que representarán un costo a lo largo de la vida útil del proyecto.

#### *i) Ingresos por consumo de Biogás*

Esta variable independiente afectará a nuestro proyecto de una manera positiva, ya que por medio de esto podremos contabilizar las ganancias que se están obteniendo mientras el proyecto esté en operación.

### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### 4.3.1. MICROSOFT EXCEL

Se utilizará el instrumento de Microsoft Excel para la realización de cálculos necesarios como el dimensionamiento del biodigestor o el análisis económico, entre otros. Esta herramienta también dispone de opciones como gráficos y tablas que se observan a lo largo de la investigación.

#### 4.3.2. GOOGLE EARTH

Esta herramienta nos será útil para la obtención de imágenes satelitales de los lugares a investigar.

#### 4.3.3. AUTOCAD

Este software nos será útil a la hora de dimensionar algún esquema o figura que se quiera realizar.

#### 4.3.4. QGIS

Se utilizará para la elaboración de mapas del sitio de la investigación.

#### 4.3.5. ENTREVISTAS A ADMINISTRACIÓN DE LA ONG AHLE

Se llevará a cabo una serie de entrevistas a los colaboradores del lugar para poder obtener ciertos datos que no están a nuestro alcance y sean útiles para nuestra investigación.

### **4.4. MATERIALES**

#### 4.4.1. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE LA ZANJA

Se utilizarán materiales como arena y plásticos para color en la zanja donde irá instalado el biodigestor, de esta manera el biodigestor no sufrirá de daños como agujeros o rayones.

#### 4.4.2. FLANGE

Se ocupará un flange o "pasamuros" de 1/2" de plástico, este es el encargado de permitir que el biogás salga del interior del biodigestor y se conduzca por la tubería que va conectada a él.

#### 4.4.3. TUBERÍA PVC PARA LA ENTRADA Y SALIDA DEL BIODIGESTOR

Esta tubería es de 6", el tubo PVC que se coloca en la entrada del biodigestor es el encargado de llevar toda la materia prima o mezcla hacia en el interior del biodigestor. El tubo PVC de salida se encarga de desechar todo el desecho o fertilizante que genere el biodigestor luego de su proceso anaeróbico.

#### 4.4.4. TUBERÍA PVC PARA LA CONDUCCIÓN DEL BIOGÁS

Esta tubería es la encargada de conducir el biogás hacia la cocina se utilizará una medida de 1/2". También es necesario colocar codos PVC de 1/2 ", 'tees' y adaptadores.

#### 4.4.5. VÁLVULAS DE SEGURIDAD

La válvula de seguridad se puede elaborar con una botella de plástico, esta válvula permitirá que retenga el ácido sulfhídrico que se encuentra en el biogás y también sirve para evitar explosiones.

#### 4.4.6. REACTOR

Es el encargado de formar el contenedor hermético que contiene la materia orgánica y permite la descomposición dentro de él. Por lo general es una "bolsa" que suele estar fabricada de polietileno tubular, se sugiere que sea de color negro y de 300 micrones de grosor para que pueda ser más resistente a la radiación solar.

#### 4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

Nuestra investigación se centra en el municipio de San Francisco de Yojoa del departamento hondureño de Cortés. Principalmente en la colonia Rocío donde se encuentra ubicada la ONG AHLE que será el centro de estudio para la investigación.



**Ilustración 22 Propiedad de ONG AHLE**

#### **4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Para la presente investigación se utilizará un enfoque cuantitativo, ya que se busca ser objetivo y nuestra investigación se basa principalmente en el cálculo de las variables definidas anteriormente. De igual manera se obtendrán datos por observación y se presentarán los resultados por medio de tablas y diagramas.

La investigación presenta un alcance descriptivo porque se realizará un análisis técnico y económico mediante la recolección de datos. Se detallarán variables como costos, producción, consumo entre otras. De igual manera se realizará un estudio no experimental porque no se manipularán las variables independientes.

El problema identificado para esta investigación se encuentra en el consumo de leña y GLP. Se desea buscar una mejor alternativa que sea amigable con el medio ambiente, con las personas por factores de salud en cuanto a leña, y economía en cuanto al GLP. La investigación se realizó en una ONG que se encuentra ubicada en San Francisco de Yojoa. La ONG utiliza combustibles como leña y GLP para la cocción de alimentos, al día se cocinan más de 240 platos de comida para los niños, jóvenes y colaboradores del lugar.

Se realizaron entrevistas a los colaboradores del lugar para obtener datos exactos del consumo de leña y GLP mensualmente y como esto los está afectando. La ONG AHLE cuenta con dos hornillas "tradicionales" donde se cocinan alimentos que requieren de un mayor tiempo de cocción y por lo general se realiza por las mañanas. El consumo de leña diario en de las hornillas son de aproximadamente de 28 kilogramos de leña lo cual al final del mes suma una gran cantidad de leña, aproximadamente de 850 kilogramos mensuales. En cuanto al consumo de GLP la ONG realiza un contrato con una empresa de gas la cual visita el lugar una vez al mes para refilar el cilindro de GLP que es de 500 litros y se paga un aproximado de L. 10,000 (Ortiz, s. f.).

Una vez conociendo la demanda de leña y GLP dentro de la ONG y analizando los tipos de biodigestores que existen se decidió implementar un biodigestor de polietileno tubular. Este tipo de biodigestor es de fácil mantenimiento para los colaboradores del lugar, ya que trabaja solo durante todo el día y puede abastecerse de biogás para poder ser utilizado durante varios

días. No es necesario estarle dando mantenimiento todas las mañanas y es el biodigestor que comúnmente se usa para familias o pueblos por su fácil instalación y mantenimiento.

#### 4.7. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN



**Ilustración 23 Metodología de Validación**

Fuente: Elaboración propia

##### 4.7.1. OBTENCIÓN DE LOS CONSUMOS DE LOS COMBUSTIBLES GLP Y LEÑA

En este apartado se realizará un análisis de los consumos de GLP y leña dentro de la ONG AHLE para la cocción de alimentos. La herramienta por utilizar será Excel donde se detallarán los consumos diarios, mensuales y anuales de GLP y leña. De igual manera se detallará cuántas horas de uso diario se les da a las dos estufas “tradicionales” y a la estufa que se utiliza con GLP. Esta información nos servirá para saber cuánto es el consumo total de leña y GLP y cuanto biogás se necesita para cubrir la demanda en el área de cocina.

En este análisis también se determinará cuanta energía se requiere para elaborar un plato de comida. Tomando en cuenta las siguientes consideraciones, se necesita 150 litros de biogás para cocinar un plato de comida, aproximadamente se necesitan de 30 a 40 litros de biogás para hervir

un litro de agua. 200 litros de biogás corresponden a 1 kg de leña con 20% de humedad. En cuanto al GLP se necesita 0.26 kg para la cocción de un plato de comida (Tilley, 2018).

**Tabla 6 Consumo energético de un plato de comida por combustible**

Combustibles	Tiempo de cocción [minutos]	Consumo [kg/h]	Poder calorífico [MJ/kg]	Energía [MJ]
Leña	55	0.75	22.78	15.7
GLP	25	0.26	123.88	13.4
Biogás	35	81.08	23.3	1,102

Fuente: Elaboración propia con datos de (Carrasco, 2015) y (Tilley, 2018)

La tabla número 6 muestra los combustibles leña, GLP y biogás y cuanto se consume por cada combustible al cocinar un plato de comida (arroz, verdura y filete de pescado al ajillo). De igual manera se muestra cuanta energía se necesita para la cocción del plato de comida.

A continuación, se muestran las equivalencias utilizadas para obtener datos de la tabla número 6:

1 kg de leña equivale a 200 L

1 kg de gas equivale a 1.805 L de gas

1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0.5 kg de GLP

#### 4.7.2. ANÁLISIS DEL RECURSO PRIMARIO DISPONIBLE Y DEL ESPACIO ASIGNADO

Se analizará el recurso primario disponible en San Francisco de Yojoa, en este caso el recurso primario que se utilizará es el estiércol de bovino. La herramienta por utilizar son entrevistas a los ganaderos cercanos a la zona de AHLE para saber si están dispuestos a intercambiar el estiércol por biofertilizante. El estiércol será utilizado para el llenado del biodigestor ubicado en la ONG con el fin de generar biogás. De igual manera se tomarán datos del ganado bovino como el peso de las vacas y los kilogramos de estiércol con que podemos contar para realizar los demás cálculos de producción de biogás. Se debe tomar en cuenta que tipo de ganado es porque puede ser ganado de pastoreo o ganado tabulado.

#### 4.7.3. CÁLCULO DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR

##### a) *Tiempo de retención*

La producción de biogás depende del tiempo de retención, y el tiempo de retención depende de la temperatura ambiente y la temperatura de trabajo del estiércol. A lo largo del tiempo de retención, el biodigestor realizará su trabajo que es la digestión anaerobia, esto quiere decir que la carga diaria de estiércol que entre de primero le tomará varias semanas producir biogás y se debe de tomar la temperatura para saber cuánto le falta. Algunos factores que también se deben considerar son la humedad del estiércol cuando está fresco y la dieta de los animales. Si la temperatura es mucho más alta refiriéndonos a grados Celsius, el tiempo de retención será menor. A continuación, se muestra una tabla que nos ayudará a calcular el tiempo de retención de nuestra materia prima en el biodigestor.

**Tabla 7 Temperaturas según el tipo de regiones**

<b>Región</b>	<b>Temperatura ambiente</b>	<b>Temperatura de trabajo</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar [msnm]</b>	<b>Tiempo de retención [días]</b>
Altiplano	-12 a 20°C	6-16°C (con invernadero)	2,900-4,500	60
Valle	5-30°C	15-30°C	1,800-2,900	30
Trópico	13-38°C	25-30°C	0-1,800	20

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (Herrero, 2008).

##### b) *Carga de mezcla diaria*

Cuando se habla de la carga de mezcla diaria es el estiércol mezclado con el agua. Se debe determinar cuánta agua será mezclada con estiércol para luego calcular el volumen total del biodigestor. La mezcla dependerá bastante del tipo de biodigestor que se utilice, por lo general se recomienda diluir mucho más el estiércol para que no se forme una nata y su flujo sea continuo.

c) *Volumen total del biodigestor*

El volumen total del biodigestor depende del volumen líquido y el volumen gaseoso. Normalmente el volumen líquido es mayor al volumen gaseoso. El volumen total se calcula con la siguiente fórmula.

$$Vt = Vg + Vl$$

**Ecuación 3 Volumen Total del Biodigestor**

El volumen líquido es tres cuartas partes del volumen total, volumen líquido también se puede calcular multiplicando TR que es tiempo de retención por CD que es carga diaria:

$$Vl = Vt \times 0.75$$

**Ecuación 4 Volumen Liquido del Biodigestor**

$$Vl = TR \times CD$$

**Ecuación 5 Volumen Liquido del Biodigestor**

Por lo tanto, el volumen gaseoso será calculado como:

$$Vg = Vt \times 0.25$$

**Ecuación 6 Volumen Gaseoso del Biodigestor**

$$Vg = \frac{Vl}{3}$$

**Ecuación 7 Volumen Gaseoso del Biodigestor**

Donde:

Vt: Volumen total [m<sup>3</sup>]

Vl: Volumen liquido [m<sup>3</sup>]

Vg: Volumen gaseoso [m<sup>3</sup>]

TR: Tiempo de Retención [días]

CD: Carga Diaria [litros]

#### d) *Producción de biogás*

La producción de biogás se dará gracias a la ausencia de aire dentro del biodigestor y la mezcla del estiércol con agua. En nuestro caso para la producción de biogás se utilizará estiércol bovino, por lo tanto, esta se estima multiplicando los litros de biogás producidos por día por kilo de estiércol fresco que se carga diariamente. Para conocer este cálculo se necesita realizar los cálculos de sólidos totales y sólidos volátiles.

Los sólidos totales es la materia orgánica seca y se calcula como:

$$ST = CD \times \frac{\%ST}{VL}$$

#### **Ecuación 8 Sólidos totales dentro del biodigestor**

Los sólidos volátiles es la materia que es transformada por las bacterias y se calcula como:

$$SV = ST \times \%SV$$

#### **Ecuación 9 Sólidos volátiles dentro del biodigestor**

$$PB = 0.27 \times SV$$

#### **Ecuación 10 Cantidad de biogás producida diario**

Donde:

ST: Sólidos totales [%]

SV: Sólidos Volátiles [%]

PB: Producción de Biogás [m<sup>3</sup>]

e) *Producción de bio y utilización*

Luego de que el biodigestor realizó su proceso y terminó el tiempo de retención de la mezcla de la carga diaria se produce lo que es un excelente fertilizante. Este fertilizante es llamado bio y sale por el tubo de salida que va conectado al polietileno tubular. El bio puede ser utilizado como fertilizante para huerto y en la ONG AHLE se le dará un uso luego de calcular cuántos litros se producen después de una carga de mezcla.

#### 4.7.4. DIMENSIONAMIENTO DE PROTOTIPO DEL BIODIGESTOR

a) *Volumen de una manga, sección eficaz y longitud*

El polietileno tubular según el ancho del rollo, este ancho del rollo nos ayudará a determinar el volumen de la manga ya que, si se obtiene el ancho del rollo, podemos determinar el perímetro de la circunferencia, la ratio y el diámetro. El volumen total de la manga es igual al volumen de un cilindro en metros cúbicos, por lo tanto, la fórmula a utilizar será:

$$V_{cilindro} = \pi \times r^2 \times L$$

**Ecuación 11 Volumen de Cilindro**

$$\text{Sección eficaz}_{cilindro} = \pi \times r^2$$

**Ecuación 12 Sección Eficaz del Cilindro**

Donde:

Pi: 3.1416

R: radio del polietileno tubular [m]

L: longitud del biodigestor [m]

Sección eficaz cilindro [m<sup>2</sup>]

La longitud que se necesitará para la construcción del biodigestor se puede determinar con la siguiente fórmula.

$$L = \frac{Vt}{\pi \times r^2}$$

### **Ecuación 13 Longitud del Biodigestor**

Donde:

R: radio del polietileno tubular [m]

L: longitud del biodigestor [m]

R: radio del polietileno tubular [m]

Vt: Volumen total [m<sup>3</sup>]

#### *b) Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor*

Las longitudes que pueden tener los biodigestores pueden ser muy variadas sin embargo existe una relación óptima entre el diámetro y la longitud la cual es 7 metros. Esa longitud óptima se puede determinar de la siguiente manera:

$$\text{Relación óptima} = \frac{L}{D}$$

### **Ecuación 14 Relación óptima**

Donde:

L: longitud del biodigestor [m]

D: Diámetro de la manga o polietileno

c) *Dimensionamiento de la zanja*

La zanja es el espacio donde irá colocado el biodigestor y este espacio requiere de un dimensionamiento especial. Se debe tomar en cuenta todos los parámetros anteriormente calculados, por lo tanto, su dimensionamiento se deja de último. La longitud de la zanja dependerá de la longitud del biodigestor. Para el dimensionamiento de la zanja se utilizará la siguiente tabla que nos ayudará a sacar las medidas de cada uno de los lados.

**Tabla 8 Guía para Dimensionamiento de Zanja**

<b>AR (m)</b>	<b>2</b>	<b>1.75</b>	<b>1.5</b>	<b>1.25</b>	<b>1</b>
a (m)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
b (m)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
p (m)	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Fuente: (Herrero, 2008).

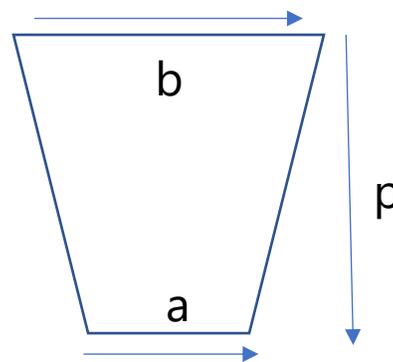
Donde:

AR: Ancho de Rollo del polietileno tubular

a: Ancho de la base de la zanja

b: Ancho de parte superior de la zanja

p: Profundidad





**Ilustración 24 Ancho del rollo del polietileno tubular o manga**

Fuente: (Mercado Libre, 2021)

#### 4.7.5. INSTALACIÓN DE PROTOTIPO DE BIODIGESTOR TUBULAR

En la siguiente sección se detallarán los pasos que se realizaron en la ONG AHLE para la instalación del prototipo de un biodigestor tubular familiar para la producción de biogás. El prototipo se instaló luego de haber realizado todos los cálculos correspondientes con el diseño y dimensionamiento del biodigestor en la sección 5.4.

El primer paso para la instalación de un biodigestor es realizar correctamente las mediciones de la zanja para empezar a cavar. El polietileno tubular es bastante flexible entonces necesario cavar una zanja o levantar dos paredes que sirva como "cuna" para que lo sostenga. Las paredes de la zanja deben de ser inclinadas para que soporten el volumen líquido del biodigestor y en la parte superior se forma la campana de biogás.



**Ilustración 25 Medición de zanja**

Fuente: Elaboración propia

Luego de cavar la zanja se debe asegurar que el fondo de la zanja esté totalmente plano o anivelado. Para asegurarnos que el fondo este anivelado se requerirá la ayuda de una manguera transparente y agua como se observa en la imagen. Por último, se debe de cubrir la zanja con nylon u otro material como arena, paja, costales u otro material que ayude a proteger el biodigestor y evite que ocurra una perforación.



**Ilustración 26 Preparación de zanja para instalación de biodigestor**

Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso es la instalación del flanje que va colocado en medio del polietileno tubular y sirve para extraer el biogás del reactor y distribuirlo por la tubería PVC. Cabe recalcar que en muchos países es difícil de conseguir esta pieza y Honduras no es la excepción, por lo tanto, se tuvo que fabricar un flanje utilizando una unión universal, un adaptador hembra y un adaptador macho. Estos materiales fueron sujetos con cinta tela gris 3M, neumático de llanta y alambre de amarre.



**Ilustración 27 Flanje para extracción de biogás**

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la instalación de la tubería PVC en la entrada y salida del polietileno tubular para la carga de estiércol diario y la descarga de biol. Para este paso se dobló la manga tubular en forma de acordeón hacia los tubos y se aseguró con cinta gris 3M, neumático de llanta, alambre de amarre y cinta momia. Es importante revisar que el polietileno tubular quede bien asegurado al tubo para que no exista ninguna fuga de biogás.



**Ilustración 28 Instalación de tubería PVC para la carga y descarga en la manga tubular**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 29 Reactor con flange y tubería de entrada y salida instalada**

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado las partes del reactor se procede al montaje e instalación dentro de la zanja y acomodamiento de los tubos de entrada y salida en los desniveles que se le realizaron a la zanja.



**Ilustración 30 Instalación y montaje de biodigestor dentro de la zanja**

Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso se procede a la instalación de la tubería PVC que conducirá el biogás hacia el área de consumo. En todo el trayecto de la tubería se instalaron las trampas las cuales son trampa de seguridad, purga de agua y la trampa de ácido sulfhídrico. De igual manera se instalaron válvulas para controlar el flujo de biogás. Las trampas y válvulas se pueden observar detalladamente en la **ilustración 2**.



**Ilustración 31 Instalación de tubería para conducción de biogás**

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado el biodigestor se procede a una prueba de fuga de aire que consiste en llenar de aire el biodigestor con ayuda de una sopladora de hojas y luego se tapa la entrada y salida del biodigestor. Se debe de esperar y observar que el biodigestor no tenga fugas de aire, una vez comprobado que no existen fugas se procederá al llenado con la mezcla de agua y estiércol, en nuestro caso una mezcla de 1:2.



**Ilustración 32 Prueba de fuga de aire en biodigestor instalado**

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalada la tubería de conducción de biogás se procede a realizar la conexión del neumático que sirve de almacenamiento de biogás. Los componentes utilizados son dos válvulas "one way", una Tee de pvc y dos válvulas de bola que van conectados como se muestra en la **ilustración 2** esquema conceptual de producción de biogás. De igual manera se realizó una modificación en la estufa la cual permite que el flujo del biogás sea constante.



**Ilustración 33 Conexión de biodigestor a estufa**

#### 4.7.6. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA

Para los análisis de factibilidad técnica del sistema de biodigestor a implementar dependerá directamente de la cantidad de materia prima disponible en el lugar, la composición química, el espacio disponible para establecer el tamaño y diseño del biodigestor requerido para cubrir la demanda de biogás en los procesos de cocina, la temperatura ambiente del lugar de instalación del biodigestor.

#### 4.7.7. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Una vez obtenido todos los resultados del biodigestor y la producción de biogás se proceden a analizar la factibilidad económica esta dependerá de variables independientes que puedan afectar a nuestras variables dependientes que son la TIR y el VAN. De igual manera se utilizará la herramienta de Excel para realizar un presupuesto de los materiales que deben comprar para construcción del biodigestor en el espacio asignado por la ONG AHLE.

#### 4.7.8. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para la realización de análisis ambiental se tomará en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> que se emiten actualmente en la ONG AHLE con la utilización de GLP y leña en el área de cocina. Luego se calculará cuántas emisiones se dejarán de emitir con la implementación de un sistema de biogás mediante un biodigestor. Para la obtención de este cálculo será necesario saber principalmente el consumo que se tiene de los combustibles que se utilizan actualmente. El factor de emisiones que se utilizará para calcular los kg de emisiones de CO<sub>2</sub> emitidos será el de GLP y el de la leña. La fórmula para utilizar será:

$$\text{Consumo de GLP o Consumo de leña} \times \text{Factor de emisiones} = \text{kg de CO}_2 \text{ emitidos}$$

**Ecuación 15 kg de CO<sub>2</sub> sin emitir por cambio de combustible**

Fuente: (Reyes, 2021)

#### 4.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Introducción										
Planteamiento del problema										
Marco Teórico										
Metodología										
Instalación del Biodigestor										
Análisis de Resultados										
Conclusiones y recomendaciones										
Artículo Científico										

Fuente: Elaboración Propia

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se presentarán los cálculos con los resultados de las fórmulas previamente descritas. Los resultados nos ayudarán a analizar si nuestro proyecto es factible económica, técnica y ambientalmente.

### 5.1. OBTENCIÓN DE LOS CONSUMOS DE LOS COMBUSTIBLES GLP Y LEÑA

AHLE es una organización que se encarga de cuidar a niños y jóvenes de escasos recursos y el cuidado requiere de una buena alimentación. Una buena alimentación consiste en que los niños y jóvenes pueden ingerir los nutrientes necesarios para que se mantengan con salud.

Se preparan alrededor de 240 platos de comida diarios lo que equivale a 7,200 platos de comidas mensuales. Los combustibles que utilizan para la preparación de alimentos son leña y GLP, cuentan con dos estufas “tradicionales”, una estufa industrial y un horno industriales. La leña la utilizan para cocinar los alimentos que requieren de un mayor tiempo de cocción como los granos básicos o el pan y el GLP lo utilizan para cocinar los demás alimentos.

AHLE consume al año alrededor de 1,379.82 galones de GLP lo que representa un valor monetario de 103,204.69 lempiras. En cuanto a la leña se consumen alrededor de 22,500 libras de leña anualmente lo que equivale a 62.5 libras diarias que son equivalentes a 40 leños. Cabe recalcar que la leña no la compran, solamente la obtienen de su propiedad, ramas caídas de los bosques cercanos o incluso se la donan (M. Ortiz, comunicación personal, 2021).

#### *a) Consumo de GLP*

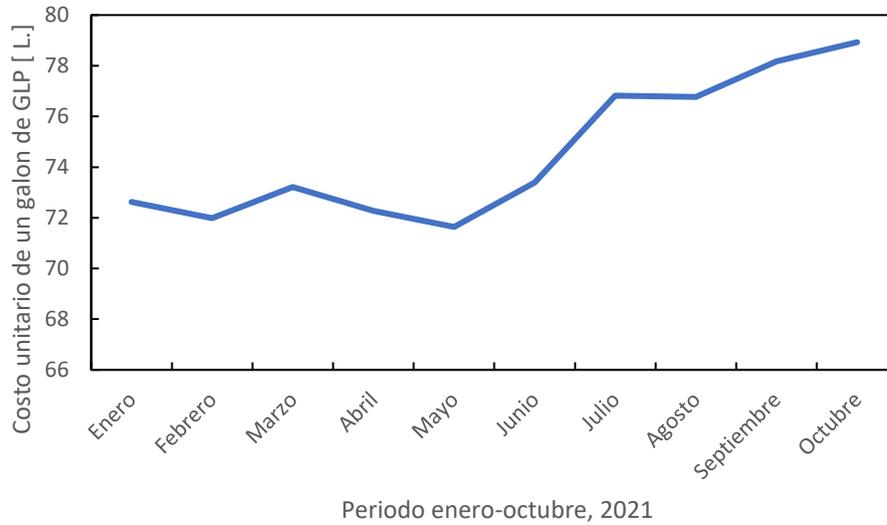
A continuación, se muestran un historial de consumo de GLP del periodo de enero a octubre del año 2021. En él se puede observar cómo los precios del GLP varían cada mes y el rango de consumo mensual.

**Tabla 9 Historial de Consumo Mensual de GLP, enero-octubre 2021**

<b>Historial de consumo de GLP mensual</b>			
<b>Mes</b>	<b>Costo unitario [L.]</b>	<b>Cantidad [gal]</b>	<b>Total [L.]</b>
Enero	72.62	77.45	5,624.42
Febrero	71.98	95.23	6,854.66
Marzo	73.22	100.14	7,332.25
Abril	72.27	115	8,311.05
Mayo	71.64	110.68	7,929.12
Junio	73.39	138.13	10,137.36
Julio	76.82	96.95	7,447.70
Agosto	76.77	169.41	13,005.61
Septiembre	78.18	163.88	12,812.14
Octubre	78.93	82.98	6,549.61
<b>Totales</b>		<b>1,149.85</b>	<b>86,003.91</b>

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de (M. Ortiz, comunicación personal, 2021)

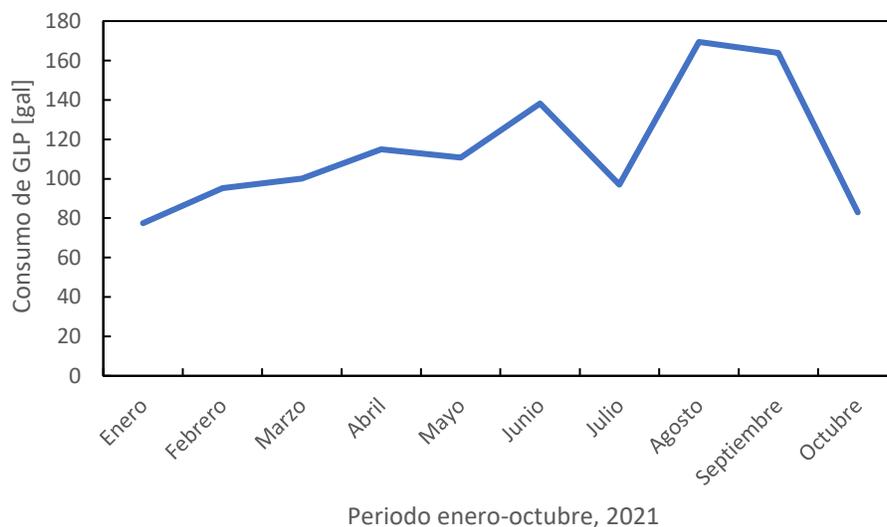
A continuación, se muestra una gráfica en la cual se puede observar cómo el precio del GLP es fluctuante en los primeros meses del mes, pero luego va en aumento en los últimos meses. Entre enero y octubre hay una diferencia de L. 6.31, es lo que el GLP ha aumentado en un periodo de 10 meses.



**Gráfica 9 Costo unitario de GLP durante el periodo de enero-octubre 2021**

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de (M. Ortiz, comunicación personal, 2021)

En la siguiente gráfica se puede observar el consumo de GLP en galones de enero a octubre del año 2021. El consumo se observa bastante fluctuante ya que hay meses donde se consume más, en estos meses probablemente se tiene visitas del extranjero y visitas de padres de familia de los niños de AHLE.



**Gráfica 10 Consumo de GLP en AHLE durante el periodo enero-octubre 2021**

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de (M. Ortiz, comunicación personal, 2021)

*b) Consumo de leña*

En cuanto al consumo de leña se tomó como referencia el promedio del consumo diario durante una semana en AHLE, pesando la cantidad de leña que iban a consumir durante el día. Se llegó a la conclusión que mensualmente se consumen 1,875 libras de leña y si se analiza anualmente representa 22,500 libras de leña para la cocción de alimentos. Diariamente se consumen 62.5 libras de leña diarias lo que representa 40 leños.



**Ilustración 34 Almacenamiento de leña en AHLE**

Fuente: (M. Ortiz, comunicación personal, 2021).

## 5.2. ANÁLISIS DEL RECURSO PRIMARIO DISPONIBLE

Para poder analizar el recurso primario disponible para la instalación del biodigestor que aprovechará el estiércol de ganado bovino en la zona de San Francisco de Yojoa, basta con conocer las actividades socioeconómicas de este municipio ya que la ganadería es una de las principales actividades socioeconómicas de la zona. La cabecera municipal San Francisco de Yojoa cuenta con más de 18 corrales o haciendas donde en cada una hay un promedio 20 vacas con un peso promedio de 250 kilogramos destinadas a la producción de leche para su comercialización y producción de lácteos. Teniendo en cuenta que a 500 metros de la ONG AHLE se encuentra ubicada la hacienda del Lic. Benigno colaborador de la institución que está de acuerdo en intercambiar el estiércol que se produce en su corral por el biol que se producirá luego del proceso de producción de biogás en la ONG AHLE. En la siguiente **Ilustración 35** se pueden observar las haciendas más cercanas a AHLE, esto repercute a un mejor acceso al recurso primario para el proyecto de biodigestor. La producción de estiércol total de las cinco haciendas es de 570kg diarios.



**Ilustración 35 Haciendas más cercanas a la ONG AHLE**

Fuente: Elaboración propia con herramienta Google Earth

**Tabla 10 Producción de estiércol según el peso del ganado**

<b>Ganado</b>	<b>Kilogramos de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal</b>
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equinos	7

Fuente: (Herrero, 2008)

Para calcular la producción de estiércol diario de 12 vacas en el corral más cercano a la ONG tomando en cuenta que el peso promedio de una vaca es de 250 kg, haciendo uso de la tabla anterior obtenemos que estas producirían 240 kg de estiércol diariamente. Tomando en cuenta que las vacas son pastoreadas y no pasan permanentes en el corral, solo se podrá recoger el 25% de ese estiércol, por lo tanto 60 kg diarios es la cantidad de estiércol disponible durante el día.

### **5.3. CÁLCULO DE DISEÑO DEL BIODIGESTOR**

Para los cálculos del diseño del biodigestor es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros.

#### **5.3.1. TIEMPO DE RETENCIÓN**

El tiempo de retención es cuánto tiempo permanecerá la mezcla de estiércol y agua dentro del biodigestor para que se realice el trabajo de digestión anaeróbica. Este tiempo dependerá de la temperatura ambiente de la región donde se requiera instalar el biodigestor (ver tabla número 6)

en San Francisco de Yojoa la temperatura ambiente varía entre los 20 °C a 35 °C tomando en cuenta estas temperaturas el tiempo de retención para la mezcla dentro del biodigestor en esta región debería de estar entre los 20 a 30 días. Para poder tener un valor fijo y poder utilizarlo en nuestros cálculos establecemos el valor de 25 días de retención. Luego de este tiempo se empezará a extraer la mezcla o el biol que está ha estado dentro del biodigestor.

### 5.3.2. CARGA DE MEZCLA DIARIA

Para establecer cuál será la carga diaria que se va a introducir en el biodigestor, se toma en cuenta la cantidad de estiércol disponible según la cantidad de vacas que se tengan y según cuánto se pueda recolectar. Siendo en este caso los 60 kg de estiércol los cuales se deben de mezclar con 120 litros de agua, haciendo así una mezcla de 1:2 es decir una parte de estiércol y dos partes de agua. Está es la mezcla recomendada para biodigestores tubulares de flujo continuo que utilizarán como materia prima el estiércol fresco y húmedo de ganado bovino. El objetivo de hacer esta mezcla donde la mayor cantidad es agua es para hacer que el contenido dentro del biodigestor sea una mezcla continua la cual se pueda extraer luego de su tiempo de retención.

### 5.3.3. VOLUMEN TOTAL DEL BIODIGESTOR

Para biodigestores tubulares el volumen total se divide en un 75% de volumen líquido y el otro 25% debe ser el espacio que ocupará el biogás producido es decir volumen gaseoso.

Con los datos obtenidos anteriormente como ser Tiempo de Retención  $TR$  y la Carga Diaria  $CD$  podemos calcular el volumen líquido con la siguiente **Ecuación 5**:

$$Vl = 25 \times 180 L$$

Donde:

$$TR = \text{Tiempo de Retención} = 25 \text{ [días]}$$

$$CD = \text{Carga Diaria} = 180 \text{ [L]}$$

$$Vl = 4,500 L \text{ o } 4.5 m^3$$

Teniendo un tiempo de retención de 25 días y una carga diaria de 180 litros sustituimos estos valores en la ecuación 4 y se obtiene que el volumen líquido  $Vl$  en el biodigestor es de 4,500 litros o 4.5 metros cúbicos.

El cálculo del volumen gaseoso  $Vg$  se realizará con la **Ecuación 7** la cual nos dice que el volumen gaseoso  $Vg$  es la tercera parte del volumen líquido  $Vl$  o con la **Ecuación 6** donde él  $Vg$  es el 25% del volumen total  $Vt$ .

$$Vg = \frac{4.5 \text{ m}^3}{3}$$

Donde:

$$Vl = \text{Volumen Líquido} = 4.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Vg = 1.5 \text{ m}^3$$

Sustituyendo el volumen líquido  $Vl$  en la **Ecuación 7** anterior se obtiene que el volumen gaseoso  $Vg$  es 1,500 litros o 1.5 metros cúbicos de biogás que se podrá almacenar dentro del biodigestor tubular.

Una vez se han obtenido los valores del volumen líquido y el volumen gaseoso el volumen total dentro del biodigestor se realiza con la **Ecuación 3**.

$$Vt = 1.5 \text{ m}^3 + 4.5 \text{ m}^3$$

Donde:

$$Vg = \text{Volumen Gaseoso} = 1.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Vl = \text{Volumen Líquido} = 4.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$Vt = 6 \text{ m}^3$$

Al sustituir los valores del volumen líquido  $V_l$  y el volumen gaseoso  $V_g$  obtenemos que el volumen total  $V_t$  es 6,000 litros o 6 metros cúbicos.

#### 5.3.4. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para poder calcular la producción de biogás se utilizan los conceptos de sólidos totales y sólidos volátiles que corresponden a la composición del estiércol que se esté utilizando. Los valores de estos parámetros los obtenemos mediante datos generales tomados de la guía de diseño de biodigestores familiares. Estos datos pueden ser distintos para la región de San Francisco de Yojoa.

##### c) *Sólidos totales*

De forma general, el estiércol de ganado bovino tiene un rango de 13 a 20 % de sólidos totales. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco por lo tanto es el peso real de materia sólida que se introducirá al biodigestor. Al realizar una mezcla con agua es necesario tomar en cuenta las siguientes estimaciones mostradas en la siguiente en la tabla 10.

**Tabla 11 Relación sólidos totales según materia**

Materia	Sólidos Totales [%]
Estiércol Fresco	17
Mezcla 1:4	3.4
Mezcla 1:3	4.25
Mezcla 1:2	5.1

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de (Herrero, 2008)

El Porcentaje de sólidos totales en una mezcla 1:2 de estiércol de ganado bovino es  $\%ST = 5.1\%$ .

Para calcular la cantidad de sólidos totales dentro del biodigestor en el caso de esta investigación utilizaremos la **Ecuación 8**.

$$ST = 180 \text{ kg} \times \frac{5.1\%}{4.5 \text{ m}^3}$$

Donde:

$$CD = \text{Carga diaria} = 180 \text{ [kg]}$$

$$\%ST = \text{Porcentaje de sólidos totales} = 5.1 \text{ [%]}$$

$$VL = \text{Volumen Líquido} = 4.5 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$ST = 2.04 \text{ kg/m}^3$$

#### d) Sólidos volátiles

Para el estiércol de ganado bovino los sólidos volátiles representan de forma general  $\%SV = 77\%$  que es el porcentaje que está sujeto a pasar a fase gaseosa. Y para calcularlo utilizamos la

**Ecuación 9.**

$$SV = 2.04 \text{ kg/m}^3 \times 77\%$$

Donde:

$$ST = \text{Sólidos Totales} = 2.04 \text{ kg/m}^3$$

$$\%ST = \text{Porcentaje de sólidos volátiles} = 77\%$$

$$SV = 1.57 \text{ kg/m}^3$$

#### e) Producción de Biogás

De forma general, el estiércol de ganado bovino tiene un rango de 13 a 20 % de sólidos totales. Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco por lo tanto es el peso real de materia sólida que se introducirá al biodigestor. Al realizar una mezcla con agua es necesario tomar en cuenta las siguientes estimaciones mostradas en la siguiente en la tabla 11.

**Tabla 12 Factores de producción según ganado**

Ganado	Factor de producción	Factor general
Cerdo	0.25 – 0.50	0.39
Bovino	0.25 – 0.30	0.27

Fuente: (Herrero, 2008)

$$PB = 0.27 \times 1.57 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

$$SV = \text{Sólidos Voátiles} = 1.57 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$PB = 0.424 \text{ m}^3_{\text{biogas}} / \text{m}^3_{\text{VL}} / \text{dia}$$

Utilizando la **Ecuación 10** podemos calcular la cantidad de biogás que se producirá diariamente en el biodigestor. Tomando como 0.27 el factor general de producción para el estiércol de ganado bovino y los sólidos volátiles  $SV = 1.57 \text{ kg/m}^3$ . Sustituimos estos valores en la fórmula anterior y obtenemos  $PB = 0.424 \text{ m}^3_{\text{biogas}} / \text{m}^3_{\text{VL}} / \text{dia}$ . Para el  $VL = 4.5 \text{ m}^3$  tendremos una producción de biogás de  $1.908 \text{ m}^3$  o 1,908.52 litros de biogás ( $PB \times VL = 1.908 \text{ m}^3$ ).

### 5.3.5. PRODUCCIÓN DE BIOL O FERTILIZANTE

Luego de que el estiércol cumple su tiempo de retención y ha dejado el proceso de digestión por parte de las bacterias y deja de producir biogás. Dentro del biodigestor queda un lodo el cual puede ser utilizado como fertilizante para las plantas ya que cuenta con contenidos tales como nitrógeno de 2 a 3%, fósforo de 1 a 2%, potasio entorno al 1 % y el 85% de materia orgánica con un PH de 7.5. Se recomienda que para obtener fertilizante más rico en estos componentes se aumente un 25% el tiempo de retención de manera que el lodo tenga una mejor descomposición y las plantas lo puedan asimilar de una mejor manera. Es importante tener en cuenta que, al

aumentar el tiempo de retención, también aumentará el volumen del biodigestor y esto generará un aumento en los costos de materiales (Herrero, 2008).

#### *f) Aplicaciones del fertilizante producido*

Las principales aplicaciones que se le pueden dar al fertilizante son para los cultivos de hortalizas. Uno de los usos es cuando se está preparando el terreno para la siembra, se riegan los surcos con el fertilizante recién salido del biodigestor esto con el objetivo de agregar nutrientes a la tierra.

El fertilizante se puede aplicar como un foliar para las plantas. Para este proceso es necesario filtrar y mezclar el fertilizante con agua. Se recomienda que la mezcla sea de 1:4 una parte de fertilizante y 4 partes de agua. Esta fumigación se puede realizar antes o después de la floración de la planta ya que si se aplica durante la floración este puede quemar la planta o impedir la producción de frutos.

#### **5.4. DIMENSIONAMIENTO DE PROTOTIPO DEL BIODIGESTOR**

Una vez analizado y calculado el diseño del biodigestor se procedió a realizar el dimensionamiento de prototipo del biodigestor, tomando en cuenta el espacio asignado por AHLE para la instalación del biodigestor. El espacio asignado se encuentra a unos 5.10 metros de la cocina y es 30m<sup>2</sup> (Referirse a ilustración 34).

- Volumen de una manga, sección eficaz y longitud

Para realizar los cálculos se investigó y cotizó el polietileno tubular ya que es necesario saber cuánto es el ancho de la manga del polietileno. El que se usó para el biodigestor tiene un ancho de manga de 1.75 metros, por lo tanto, nos guiamos de la siguiente tabla para saber las demás dimensiones que ocuparíamos. Luego de saber las dimensiones del polietileno tubular se procede a utilizar la **Ecuación 10** para conocer la sección eficaz del cilindro que nos ayudara a calcular la longitud del biodigestor.

**Tabla 13 Parámetros según el ancho del rollo**

Ancho de rollo [m]	Parámetro de la circunferencia [m]	Radio [m]	Diámetro [m]	Sección eficaz [m <sup>2</sup> ]
1.75	3.5	0.56	1.12	0.97
1.25	2.5	0.40	0.80	0.50
1	2	0.32	0.64	0.32

$$\text{Sección eficaz}_{cilindro} = \pi \times 0.56^2 \text{ m}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

$$r = \text{Radio de la manga} = 0.56 \text{ [m]}$$

$$\text{Sección eficaz}_{cilindro} = 0.97 \text{ m}^2$$

Una vez obteniendo nuestra sección eficaz y el volumen total que tendrá nuestro biodigestor se puede calcular la longitud del biodigestor con la **Ecuación 11**.

$$L = \frac{6 \text{ m}^3}{0.97 \text{ m}^2} = 6.09 \text{ m}$$

Donde:

$$Vt = \text{Volumen Total} = 6 \text{ [m}^3 \text{ ]}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$r = \text{Radio de la manga} = 0.56 \text{ [m]}$$

$$L = 6.09 \text{ m}$$

Por lo tanto, nuestro volumen del cilindro se calcula con la **Ecuación 9**:

$$V_{cilindro} = 0.97 \text{ m}^2 \times 6.09 \text{ m} = 5.90 \text{ m}^3$$

Donde:

$$L = \text{Longitud} = 6.09 \text{ [m]}$$

$$\text{Sección eficaz}_{\text{cilindro}} = 0.97 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{cilindro}} = 5.90 \text{ m}^3$$

- Relación óptima entre longitud y diámetro del biodigestor

A continuación, se calculó la relación óptima entre longitud y diámetro que tendrá nuestro biodigestor con la **Ecuación 12**.

$$\text{Relación óptima} = \frac{6.09 \text{ m}}{1.12 \text{ m}}$$

Donde:

$$L = \text{Longitud} = 6.09 \text{ [m]}$$

$$D = \text{Diámetro} = 1.12 \text{ [m]}$$

$$\text{Relación óptima} = 5.44 \text{ m}$$

Se puede observar que nuestra relación óptima entre longitud y diámetro está en un rango óptimo.

## 5.5. RESULTADO DE LA INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR

En el siguiente apartado se puede observar el resultado final del biodigestor tubular una vez realizado todos los pasos necesarios para su instalación. Luego de su instalación se procede al llenado de la primera carga de estiércol y agua la cual le corresponde un llenado de 75% del volumen total, este llenado tendrá una mezcla de 1:2 como se explicó en la sección 5.3.4. Luego de realizar el llenado del biodigestor se procede a la espera de la culminación del tiempo de retención el cual según nuestros cálculos en la sección 5.3.1 es de 25 días. Sin embargo, se debe de tomar en cuenta que la instalación se realizó en temporada de lluvias y frentes de fríos, esto ocasiona que el tiempo de retención aumentara 10 días ya que las temperaturas bajan entre 7 °C - 10 °C. Al pasar el tiempo de retención se deberá introducir la carga diaria al biodigestor la cual corresponde de 180 litros de mezcla de estiércol y agua 1:2.



**Ilustración 36 Resultado de biodigestor instalado**

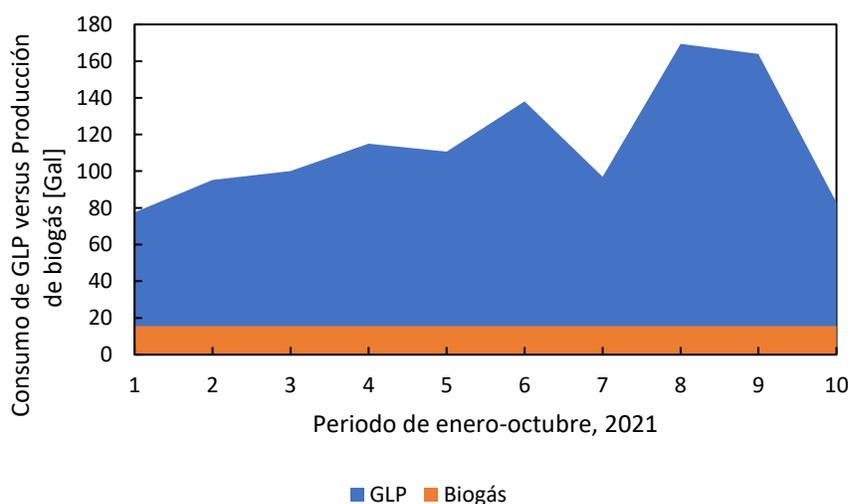
Fuente: Elaboración propia

## 5.6. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA

En cuanto al análisis de factibilidad técnica se tomaron como parámetros la disponibilidad de recursos de la materia prima que se tiene y la cantidad de biogás que se producirá para sustituir el GLP. Se concluye que hay suficiente materia prima en San Francisco de Yojoa para suplir la demanda de GLP por biogás en la ONG AHLE, ya que es una zona ganadera. Sin embargo, por motivos de espacio la directiva de AHLE nos asignó una zona algo reducida para la instalación del prototipo a la cual se le sacó el máximo provecho. Para el diseño del biodigestor se tomaron en cuenta las medidas del espacio asignado, el cual es de 30m<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en la parte trasera de la bodega (referirse a ilustración 37).

Al realizarse los cálculos se obtuvo que el biodigestor adecuado para el espacio debe de ser de 6.08 metros de largo y 1.75 metros de ancho. Este tamaño de biodigestor tubular nos permite obtener una producción de biogás de 57.256 m<sup>3</sup> al mes, lo equivale a sustituir 14.01 galones de GLP mensuales por biogás. Si se comparan los 14.01 galones con el consumo promedio mensual en AHLE, el cual es 114.99 galones, se puede analizar que es insuficiente para cubrir la demanda promedio de AHLE. Por esta razón se concluye que técnicamente el biodigestor no es factible ya que no sustituye ni el 50% de la demanda.

A continuación, se muestra una gráfica de la comparación del consumo actual de GLP en AHLE y qué pasaría si se sustituye con el porcentaje de biogás que se producirá.



**Gráfica 11 Consumo de GLP versus Producción de Biogás**

Fuente: Elaboración Propia

### 5.7. ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para realizar el análisis de la factibilidad económica se usarán las variables dependientes de VAN y TIR. Luego de realizar los cálculos de nuestra inversión se procedió a realizar un flujo de caja en donde se determinó primeramente la vida útil del biodigestor la cual es de 3 años. La vida útil se determinó de acuerdo con la calidad de materiales que se utilizaron en la construcción del biodigestor y también influye el grosor del polietileno tubular. Dentro del flujo de caja se incluyó los costos de operación y mantenimiento a lo largo de los meses. El costo de inversión dio un total de L. 2,936.04 y los ingresos se determinaron con el ahorro monetario que la ONG va a tener por la sustitución de GLP. Se concluyó que el proyecto es factible ya que nuestra TIR dio 26% sin embargo el VAN dio un valor positivo el cual fue L. 9.094.63.

**Tabla 14 Resultado de VAN y TIR**

<b>VAN</b>	<b>TIR</b>
L. 9,094.63	26%

La ONG AHLE consume 114.99 galones de GLP mensuales, pero con la sustitución de GLP a biogás AHLE solamente consumirá 100.98 galones de GLP. Si se refleja monetariamente AHLE tendrá un ahorro de L.1,069.31 al mes.

A continuación, se muestra la tabla de inversión que se realizó con todos los materiales que se necesitaron para la construcción del biodigestor en AHLE.

**Tabla 15 Inventario de materiales para construcción de prototipo del biodigestor.**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>		<b>Precio unidad</b>	<b>Lempiras (L.)</b>	<b>Dólares (\$)</b>
Válvula de bola PVC	3		46.67	140	5.79
Unión universal	1		155	155	6.40
Reductor	1		23	23	0.95
Tubo de PVC 2"	4		15.8	63	2.60
Tubo de PVC 6"	7		70	490	20.25
Neumático	1		165	165	6.82
Codo liso 1/2"	2		5.5	11	0.45
Adaptador hembra	1		4	4	0.17
Adaptador macho	1		3	3	0.12
Alambre de amarre	1		25	25	1.03
Reductor PVC 1" - 1/2"	4		8.7	34.8	1.44
Tapón PVC 6"	2		110	220	9.09
Tee lisa 1/2"	2		5.7	11.4	0.47
Nylon negro 72"	14	yd	33.04	462.56	19.11
Nylon doble grueso 36"	7	yd	13.04	91.28	3.77
Válvula "one way"	2		120	240	9.92
Neumático	1		330	330	13.64
Pegamento para PVC	1		117	117	4.83
Tape ducto tela gris	1		45	45	1.86
Estufa	1		200	200	8.26
Tubo PVC 1/2"	1	lance	105	105	4.34
				2,936.04	

Fuente: Elaboración Propia

## 5.8. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para el cálculo de los kg de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera utilizaremos los factores de emisión para la madera de 1.84 kgCO<sub>2</sub>/kg y para el GLP se utilizará 8.21 kgCO<sub>2</sub>/kg (Leal, 2015).

**Tabla 16 Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de leña**

<b>Combustible</b>	<b>Consumo mensual [kg]</b>	<b>Factor de emisiones [kgCO<sub>2</sub>/kg]</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> Emitidos</b>
Leña	850.5	1.84	1,564.92

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la tabla 16 las emisiones por consumo en la ONG AHLE son de 1,564.92 kgCO<sub>2</sub> mensualmente, además de esta contaminación al medio ambiente se está aportando a la deforestación de los bosques.

**Tabla 17 Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de GLP**

<b>Combustible</b>	<b>Consumo mensual [kg]</b>	<b>Factor de emisiones [kgCO<sub>2</sub>/kg]</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> Emitidos</b>
GLP	221.95	8.21	1,822.23

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 17 se puede observar que por consumir 221.95 kg de GLP como combustible para la cocción de alimentos se emiten 1,822.23 kgCO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**Tabla 18 Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de GLP con sistema de Biogás**

<b>Combustible</b>	<b>Consumo mensual [kg]</b>	<b>Factor de emisiones [kgCO<sub>2</sub>/kg]</b>	<b>kg CO<sub>2</sub> Emitidos</b>
GLP	193.327	8.21	1,587.22

Fuente: Elaboración Propia

Al implementar el sistema de prototipo de biodigestor para la producción de biogás en la ONG AHLE este producirá 30 kg de biogás lo cual reduce el consumo de GLP para la cocina de alimentos. Por lo cual se dejan de emitir 235.01 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

## VI. CONCLUSIONES

Se realizó la instalación de un prototipo de biodigestor que aprovecha el estiércol de ganado bovino para evaluar la factibilidad tecno-económica de la sustitución de leña y Gas licuado de petróleo (GLP) por biogás en la Organización No Gubernamental (ONG) Acción Humana de la Luz Eterna (AHLE) ubicada en San Francisco de Yojoa, Cortés. Se utilizaron como indicadores para obtener la factibilidad tecno-económica la disponibilidad de materia prima, espacio disponible para la instalación del prototipo, el VAN y la TIR. El biodigestor instalado tiene una producción de 1.908 m<sup>3</sup> de biogás diarios el cual será empleado para la cocción de alimentos, teniendo un ahorro de L. 1,069.31 mensuales. La investigación reveló los siguientes resultados:

- Se determinó que los consumos mensuales en AHLE de leña es de 1,875 libras y el consumo promedio de GLP es de 114.99 galones.
- La cantidad de estiércol disponible para el proyecto de investigación es de 570kg diarios, esta cantidad corresponde a la producción de estiércol de las cinco haciendas más cercanas a AHLE.
- Se determinó que la tecnología más adecuada para AHLE es un biodigestor tubular de flujo continuo de 6.09 m de largo y 1.74 m de ancho. Este tamaño de biodigestor revela una relación óptima de 5.44 m con la cual se puede obtener una mejor producción de biogás.
- Se estimó que los costos de los materiales requeridos para la instalación del biodigestor en AHLE suman un total de L. 2,009.64.
- La ONG AHLE asignó un espacio de 30 m<sup>2</sup> en el cual se instaló un biodigestor que aprovecha el estiércol proveniente de una de las haciendas más cercanas logrando sustituir 15.53 galones de GLP mensualmente por el consumo de biogás.
- Se obtuvo como resultado un valor actual neto de L. 10,21.03y una tasa interna de retorno de 35 %. Debido a esto se determinó que el proyecto de investigación es factible económicamente.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera AHLE con el consumo de leña y GLP son de 3,387.15 kgCO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que se dejarán de emitir con la implementación del sistema de biogás son de 193.32 kgCO<sub>2</sub>.

Las limitaciones que se presentaron para este proyecto de investigación fueron las siguientes:

Para calcular la producción de biogás se necesitaba información acerca de los sólidos volátiles y sólidos totales del estiércol, específicamente de la zona de San Francisco de Yojoa. Lo cual fue la primera limitante para este proyecto ya que no se encuentran datos o estudios específicos sobre el estiércol en la zona, por lo tanto se optó por utilizar valores generales. La siguiente limitante fue en cuanto a la obtención del flange (pieza que sirve de conexión entre la salida del biogás del biodigestor y la tubería PVC) ya que en nuestra zona no se encuentra. Como alternativa para el flange se utilizó una conexión universal de PVC con reducción de dos pulgadas a media pulgada de tubería PVC.

Se espera que este proyecto se utilice como una estrategia para reducir los costos por la compra de GLP en AHLE. De igual manera sirva como una inspiración para la administración de AHLE en instalar un sistema de biogás mejorado para que puedan sustituir en un 100% el GLP y la leña, utilizados para la cocción de los alimentos. También se espera que sirva como ejemplo para las personas de San Francisco de Yojoa y puedan aprovechar los residuos de estiércol de ganado bovino para la producción de biogás. De esta manera puedan contribuir a realizar un cambio positivo al medio ambiente y mejorar su economía.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la recolección de estiércol se realice de la hacienda del licenciado Benigno por la fácil accesibilidad que se tiene al corral de las vacas y con esto se disminuye los costos de combustible.
- Si se tiene una disponibilidad de materia prima constante es recomendable que se instale un biodigestor de flujo continuo debido a la facilidad que tienen estos para la introducción y extracción de materia orgánica sin afectar la producción de biogás.
- Algunos países no cuentan con materiales como flanges o es difícil encontrar diferentes tamaños de ancho de polietileno tubular. Si en un dado caso no se cuenta con un material se recomienda buscar una alternativa que no afecte la producción del biogás.
- Tomando en cuenta los consumos actuales de leña y GLP en AHLE, es recomendable un espacio mucho más grande al asignado. De esta manera se podrá instalar un biodigestor que pueda cubrir un porcentaje mayor de GLP y leña del que se cubre con el prototipo actual.

## **VIII. APLICABILIDAD / IMPLEMENTACIÓN**

Se espera que este proyecto se utilice como una estrategia para reducir los costos por la compra de GLP en AHLE. De igual manera sirva como una inspiración para la administración de AHLE en instalar un sistema de biogás mejorado para que puedan sustituir en un 100% el GLP y la leña, utilizados para la cocción de los alimentos. También se espera que sirva como ejemplo para las personas de San Francisco de Yojoa y puedan aprovechar los residuos de estiércol de ganado bovino para la producción de biogás. De esta manera puedan contribuir a realizar un cambio positivo al medio ambiente y mejorar su economía.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

*03-biodigestores.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf>

*18880.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf>

*BEN-2019.pdf*. (s. f.). Recuperado 16 de octubre de 2021, de <https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/01/BEN-2019.pdf>

*Biodigestores.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1>

*Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

Business, E. G. S. of. (s. f.). *Fundamentos financieros: El valor actual neto (VAN)*. Recuperado 29 de octubre de 2021, de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/fundamentos-financieros-el-valor-actual-neto-van/>

*Carrasco, 2015*. (s. f.). Recuperado 30 de octubre de 2021, de [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella\\_carbono/informe\\_gei/6\\_anexo\\_3Factores\\_Emision\\_Herramienta\\_Inventario\\_GEI\\_EAB\\_2014.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf)

Castro, M. (2019, agosto 8). *Biodigestor: Para qué sirve, tipos, ventajas, desventajas*. <https://www.lifeder.com/biodigestor/>

Filomeno 2010. (s. f.). Recuperado 27 de noviembre de 2021, de <http://www.bibalex.org/search4dev/files/419121/442095.pdf>

Fundacion VIDA. (2020). *Ecofogón de Mesa – FUNDACION VIDA | HONDURAS*. <https://fundacionvida.org/tienda/ecofogon-de-mesa/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGrawHill.

Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Jaime Marti Herrero.

ICF. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://fapvs.hn/wp-content/uploads/2018/08/Ley-Forestal-Areas-Protegidas-y-Vida-Silvestre-1.pdf>

ICF. (2021, abril 23). *Honduras pierde al año 78.000 hectáreas de bosque y pide más responsabilidad*. SWI swissinfo.ch. [https://www.swissinfo.ch/spa/d%C3%ADa-tierra-honduras\\_honduras-pierde-al-a%C3%B1o-78.000-hect%C3%A1reas-de-bosque-y-pide-m%C3%A1s-responsabilidad/46558392](https://www.swissinfo.ch/spa/d%C3%ADa-tierra-honduras_honduras-pierde-al-a%C3%B1o-78.000-hect%C3%A1reas-de-bosque-y-pide-m%C3%A1s-responsabilidad/46558392)

*Ley General del Ambiente*. (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de [https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver\\_documento.php?uid=NTk1NjM4OTM0NzYzNDg3MTI0NjE5ODcyMzQy](https://portalunico.iaip.gob.hn/portal/ver_documento.php?uid=NTk1NjM4OTM0NzYzNDg3MTI0NjE5ODcyMzQy)

López, E. N. G., Reyez, J. S. R., & Martínez, A. T. (2017). *IMPLEMENTACION DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LAS GRANJAS PORCINAS EN EL MUNICIPIO DE TIBANA*. 81.

Mercado Libre. (2021). *Nylon Tubular Negro 1 Metro Ancho (60 Micras) X 10 Metros*—\$ 270.

[https://articulo.mercadolibre.com.uy/MLU-468539583-nylon-tubular-negro-1-metro-ancho-60-micras-x-10-metros-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.uy/MLU-468539583-nylon-tubular-negro-1-metro-ancho-60-micras-x-10-metros-_JM)

Miguel Muñoz. (s. f.). Recuperado 29 de octubre de 2021, de

[http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/valor-actual-neto-y-tasa-interna-de-retorno-van-y-tir\\_1563977885.pdf](http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/valor-actual-neto-y-tasa-interna-de-retorno-van-y-tir_1563977885.pdf)

Morales, J. (1997). *AD389s*. <https://www.fao.org/3/AD389S/AD389s06.htm>

Neda, A. T. L. (2020). *DIARIO OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE HONDURAS DECANO DE LA PRENSA HONDUREÑA PARA MEJOR SEGURIDAD DE SUS PUBLICACIONES*. 35, 31.

Ortis, M. (2021, octubre 9). *Recoleccion de Datos* [Comunicación personal].

Ortiz, M. (s. f.). *Fundación AHLE – Un lugar de Esperanza*. Recuperado 21 de octubre de 2021, de <https://www.fundacionahle.com/>

Publichealth, M., & Environmental Health. (s. f.). *Contaminación por humo de leña | Public Health Madison & Dane County, Public Health Madison & Dane County*. Recuperado 30 de octubre de 2021, de <https://www.publichealthmdc.com/espanol/salud-ambiental/calidad-del-aire/calidad-del-aire-exterior/contaminacion-por>

Ramirez, P. (2021, febrero 9). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos | Economía 3*. *Economia3*. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

RedHonduras. (2020, noviembre 3). *Municipio de San Francisco de Yojoa*. *RedHonduras.com - El referente de Honduras*. <https://redhonduras.com/geografia/san-francisco-yojoa/>

Santana, A. (2008). *Universidad Austral de Chile—PDF Free Download.*

<https://docplayer.es/62807642-Universidad-austral-de-chile.html>

*Secretaria de Estado en despacho de Energia.* (s. f.). Recuperado 16 de octubre de 2021, de

<https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/01/BEN-2019.pdf>

*Secretaria de Estado en el Despacho de Energia.* (s. f.). Recuperado 21 de octubre de 2021, de

[https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/09/Informe-Estadistico-Mensual-de-](https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/09/Informe-Estadistico-Mensual-de-Comercializacion-de-Hidrocarburos-en-Honduras-Agosto-2021.pdf)

[Comercializacion-de-Hidrocarburos-en-Honduras-Agosto-2021.pdf](https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/09/Informe-Estadistico-Mensual-de-Comercializacion-de-Hidrocarburos-en-Honduras-Agosto-2021.pdf)

Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente. (2020, septiembre 28). *MiAmbiente.*

[http://www.miambiente.gob.hn/blog/view/estrategia-nacional-para-la-adopcion-de-](http://www.miambiente.gob.hn/blog/view/estrategia-nacional-para-la-adopcion-de-estufas-mejoradas-en-honduras)

[estufas-mejoradas-en-honduras](http://www.miambiente.gob.hn/blog/view/estrategia-nacional-para-la-adopcion-de-estufas-mejoradas-en-honduras)

(2021). *45 segundos.* Obtenido de [https://45segundos.com/2021/08/09/relleno-sanitario-dona-](https://45segundos.com/2021/08/09/relleno-sanitario-dona-juana-cuenta-con-una-planta-de-biogas-que-reduce-la-contaminacion-del-aire/)

[juana-cuenta-con-una-planta-de-biogas-que-reduce-la-contaminacion-del-aire/](https://45segundos.com/2021/08/09/relleno-sanitario-dona-juana-cuenta-con-una-planta-de-biogas-que-reduce-la-contaminacion-del-aire/)

Agencia de Proteccion Ambiental de Estados Unidos. (2021). Descripción General de los Gases de

Efecto Invernadero. Obtenido de [https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-](https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero)

[medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero](https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero)

*Biogás Doña Juana.* (2017). Obtenido de <https://biogas.com.co/>

Cruz, M. (2021). *¿Sabías que en Doña Juana se aprovechan los gases de los residuos orgánicos?*

Obtenido de [https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-](https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-bogota)

[bogota](https://bogota.gov.co/mi-ciudad/habitat/planta-de-biogas-dona-juana-en-bogota)

Digital, E. P. (20 de Febrero de 2019). *Proceso Digital*. Obtenido de <https://www.proceso.hn/portadas/10-portada/revisar-contratos-y-reducir-perdidas-prioridad-para-salvar-la-enee.html>

Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático . (s.f.). *Manual de Biogas*. Obtenido de [Manual\\_de\\_Biogas01.pdf \(gba.gob.ar\)](#)

Leal, J. B. (2015). *Factor de Emisiones Considerados en la Herramienta de Calculo de la Huella de Carbono Corporativa* .

Observatorio Boliviano de Cambio Climático y Desarrollo. (s.f.). *Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de <https://obccd.org/gases-de-efecto-invernadero-co2e-co2-y-carbono/>

Reyes, M. F. (2021). Clase de Auditoria y Gestion de la Energia. Unitec.

Rodríguez, D. (05 de Marzo de 2020). *La Prensa*. Obtenido de <https://www.laprensa.hn/honduras/1361764-410/cree-recomienda-enee-aplicar-tarifa-horaria-honduras>

Rodríguez, L. (23 de Enero de 2020). *El Heraldo*. Obtenido de Deuda de ENEE con generadores cerró en L.9,348 millones en 2019: <https://www.elheraldo.hn/economia/1351059-466/deuda-de-enee-con-generadores-cerr%C3%B3-en-l-9348-millones-en-2019>

Taur, Caballero, & Ghilardi. (2018). *Sistema estadístico y geográfico para la evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en los países del sistema de integración centroamericana*. Obtenido de [https://www.wegp.unam.mx/static/reportes/SicaBioenergy/honduras/InformeBioenergiaHonduras\\_Mayo2018.pdf](https://www.wegp.unam.mx/static/reportes/SicaBioenergy/honduras/InformeBioenergiaHonduras_Mayo2018.pdf)

World Bioenergy Association. (2020). *World Bioenergy Statics*. Obtenido de 201210 WBA GBS  
2020.pdf (worldbioenergy.org)

## X. ANEXOS



**Ilustración 38 Estufa de gas**



**Ilustración 37 Válvula "one way"**



**Ilustración 40 Biodigestor AHLE**



**Ilustración 39 Sistema de distribución de biogás**



**Ilustración 41 Neumático para almacenamiento de biogás**

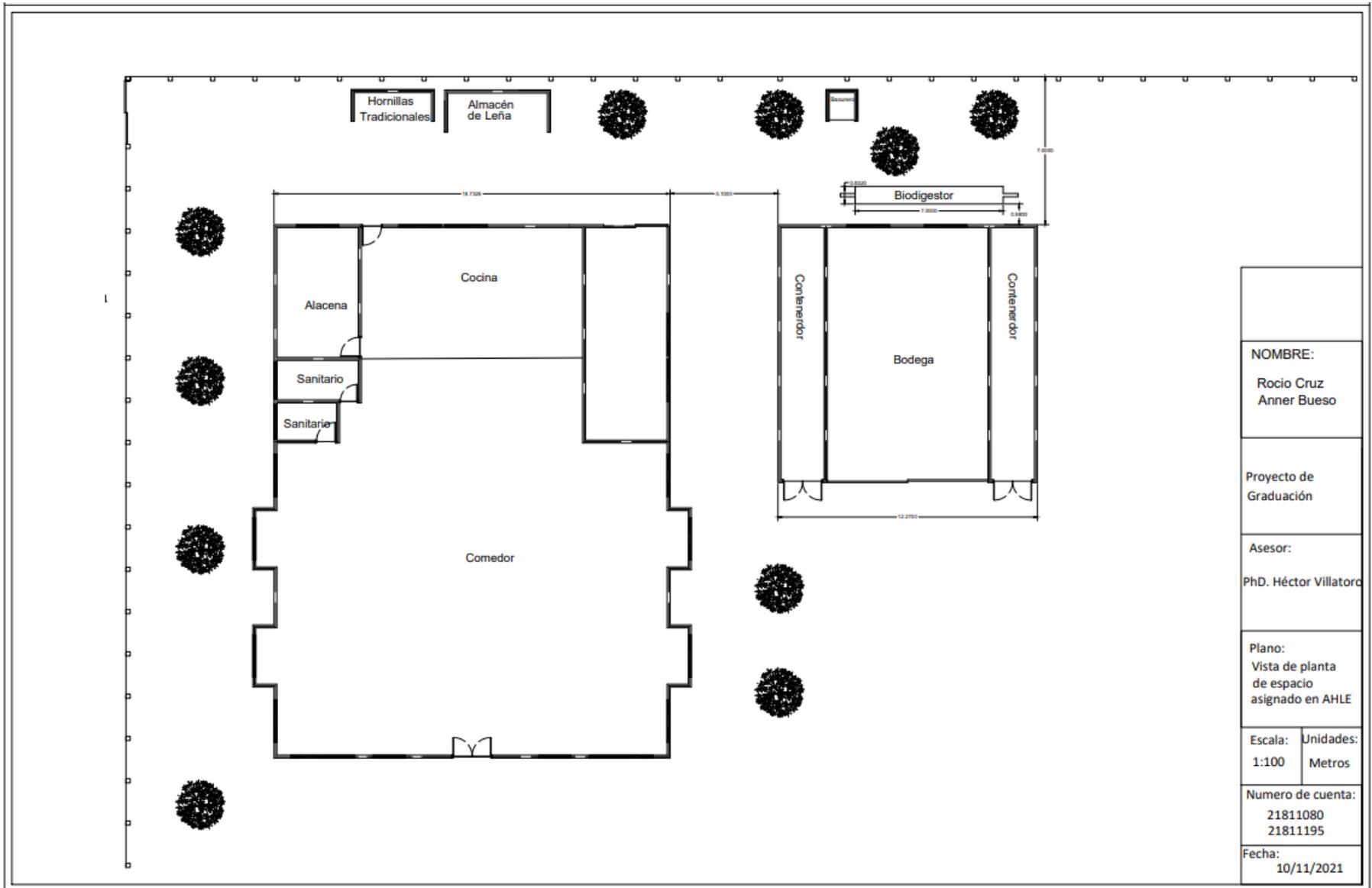


**Ilustración 43 Corral del Lic. Benigno**



**Ilustración 42 Transporte de estiércol a AHLE**

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 44 Vista de planta de espacio asignado para instalación de biodigestor**

