



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO DE BIODIGESTOR CON BASE EN MATERIA ORGÁNICA DESCARTADA DEL
GUINEO COMO BIOCOMBUSTIBLE PARA CHIQUITA HONDURAS COMPANY LTD. LA
LIMA, HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21841181 JUAN ANDRÉS LUQUE AGUILAR

21551066 CARLOS ALDAIR GUEVARA ALVARADO

ASESOR:

ING. VIELKA SOFÍA BARAHONA

CAMPUS UNITEC SAN PEDRO SULA; 01 DE NOV. DE 22

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todos aquellos docentes que se han empeñado en educarnos con entusiasmo, poniendo su máximo esfuerzo y dedicación en la profesión más noble en el mundo, más importante y a veces menos reconocida. Además, dedico mis esfuerzos a mi familia y amigos que de alguna manera han contribuido arduamente en la finalización de mis estudios universitarios.

- Juan Luque

Este proyecto va dedicado a todas las personas que estuvieron a lo largo de este camino, va dedicado aquellos que confiaron en mí y me ayudaron a llegar hasta aquí, el camino se miraba largo, pero no imposible y henos aquí culminando esta etapa, lleno de nostalgia, pero con mucha alegría por todas las experiencias y los recuerdos, pero como dice el dicho "parte del camino es el final".

- Aldair Guevara

RESUMEN

La mayor parte de la economía de Honduras se basa en la agronomía y agricultura, para la producción de estos cultivos es necesaria una variedad de equipos que demandan mucha energía eléctrica o combustibles para su funcionamiento, esto genera grandes costos debido a las altas tarifas de los recursos energéticos. Una de las alternativas que ha surgido en los últimos años es el uso de los desechos de los cultivos para generar energía eléctrica y poder suplir la demanda energética de las industrias.

Para esto se presenta el dimensionamiento e instalación de un prototipo de un biodigestor que sea apto para utilizar la fruta de rechazo del banano como materia prima base en la generación de biogás y se dimensiona un sistema que sea aplicable para la generación de energía eléctrica y suplir una parte de la demanda energética de la compañía Chiquita Honduras Company Ltd. Empresa que cuya sede principal está ubicada en el municipio de La Lima, Cortes donde tiene instalada actualmente 8 fincas destinadas al cultivo y producción de banano. Con este prototipo se evaluó la factibilidad del banano como materia prima para la producción de biogás, también se realizaron análisis técnicos, económicos y ambientales.

El análisis de factibilidad económica se realizó con un análisis financiero de los costos necesarios para la instalación del biodigestor como la inversión inicial; por medio de este mismo análisis se logró calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) los cuales fueron datos utilizados como indicadores para la determinación de la factibilidad del proyecto. Para el análisis técnico se tomaron en consideración dos datos, la cantidad de materia prima disponible era suficiente para el funcionamiento del biodigestor y su tamaño. Para el análisis ambiental se tomó en cuenta que al utilizar esta fruta de rechazo los consumos de petróleo para el cultivo y producción del banano disminuirían por lo que la cantidad de gases emitidos disminuyó de manera significativa. Se espera que este proyecto sirva como referencia para futuras investigaciones y proyectos con respecto al uso del banano como materia prima y de esta manera se pueda utilizar esta tecnología de manera industrial con el objetivo de implementar y aprovechar en todos los aspectos posibles su uso.

Palabras claves: banano, biogás, biodigestor, emisiones de CO_2 , fincas bananeras, petróleo.

ABSTRACT

Most of the economy of Honduras is based on agronomy and agriculture, for the production of these crops a variety of equipment is necessary that requires a lot of electrical energy or fuel for its operation, this generates large costs due to the high tariffs of the energetic resources. One of the alternatives that has emerged in recent years is the use of crop waste to generate electricity and be able to meet the energy demand as it is in the case of the sugar industries, that is where the idea of this project was born. Its mission is the production of biogas from the rejected fruit of the banana industry in Honduras.

For this, the dimensioning and installation of a prototype of a biodigester that is suitable for using the rejected banana fruit as a base raw material in the generation of biogas is presented and a system is dimensioned that is applicable for the generation of electrical energy and supply a part of the energy demand of the company Chiquita Honduras Company Ltd. Company whose headquarters are located in the municipality of La Lima, Cortes where it currently has 8 farms for the cultivation and production of bananas. With this prototype, the feasibility of bananas as a raw material for biogas production was evaluated, technical, economic and environmental analyzes were also carried out.

The economic feasibility analysis was carried out with a financial analysis of the costs necessary for the installation of the biodigester as the investment begins; Through this same analysis, it was possible to calculate the net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR), which were data used as indicators to determine the feasibility of the project. For the technical analysis, two data were taken into consideration: the amount of raw material available was sufficient for the operation of the biodigester and its size. For the environmental analysis, it was taken into account that by using this rejected fruit, the consumption of oil for the cultivation and production of bananas would decrease, so the number of gases emitted decreased significantly. It is expected that this project will serve as a reference for future research and projects regarding the use of bananas as a raw material and in this way this technology can be used industrially with the aim of implementing and taking advantage of its use in all possible aspects.

Keywords: bananas, biogas, biodigester, CO_2 emissions, banana farms, oil.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	3
2.1.	Precedentes del Problema	3
2.2.	Definición del Problema.....	4
2.3.	Justificación.....	4
2.4.	Preguntas de Investigación.....	6
2.5.	Objetivos.....	7
2.5.1.	Objetivos General.....	7
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	7
III.	Marco Teórico.....	8
3.1.	Biomasa.....	8
3.2.	Panorama Energético de la Bioenergía.....	10
3.3.	Contexto de la Industria Bananera y Potencial de La Biomasa en Honduras.....	16
3.4.	Tipos de Biodigestores.....	17
3.4.1.	Plantas de globo.....	18
3.4.2.	Domo Fijo.....	18
3.4.3.	Tambor Flotante	19
3.5.	Biogás	19
3.6.	Marco Regulatorio	20
IV.	Metodología.....	21
4.1.	Enfoque	21

4.2.	Variables de Investigación.....	22
4.3.	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	28
4.3.1.	Microsoft Excel.....	28
4.3.2.	Google Earth.....	29
4.3.3.	AutoCAD	29
4.3.4.	Cámara Digital	29
4.3.5.	Entrevistas	29
4.3.6.	Retscreen	29
4.4.	Materiales	30
4.4.1.	Lista de materiales	30
4.4.2.	Lista de Herramientas	31
4.5.	Población y Muestra.....	32
4.6.	Metodología de Estudio.....	33
4.7.	Metodología de Validación.....	33
4.7.1.	Visita a sitio y levantamiento de datos de la cantidad de materia orgánica desaprovechada por la empresa Chiquita Honduras Company Ltd.....	34
4.7.2.	Análisis del consumo energético en Chiquita Honduras Company.....	34
4.7.3.	Diseño del prototipo del biodigestor	35
4.7.4.	Análisis del potencial energético del guineo como biomasa y Selección de Grupo Electrónico	40
4.7.5.	Pruebas experimentales para la comprobación del funcionamiento del biodigestor.	41
4.7.6.	Potencial de Generación de Energía en Base a La Materia Orgánica Disponible	42

4.7.7.	Análisis tecno-económico, establecer beneficios energéticos y económicos que la empresa obtendrá con la implementación de esta tecnología.....	43
4.7.8.	Impactos Ambientales	43
4.8.	Cronograma de Actividades	45
V.	Resultados y Análisis.....	46
5.1.	Visita a sitio y levantamiento de datos de la cantidad de materia orgánica desaprovechada por la empresa Chiquita Honduras Company Ltd.	46
5.2.	Análisis del consumo energético en Chiquita Honduras Company.	47
5.3.	Diseño del prototipo de biodigestor y biodigestor real.....	48
5.3.1.	Generación de biogás para Prototipo de Biodigestor.....	48
5.3.2.	Generación de Biogás para Biodigestor Real.....	54
5.3.3.	Dimensionamiento de Biodigestor Real	57
5.3.4.	Análisis del Potencial Energético del Guineo como Biomasa y Selección de Grupo Electrónico	63
5.3.5.	Potencial de Generación de Energía en Base a La Materia Orgánica Disponible	64
5.3.6.	Análisis de factibilidad económica.....	65
VI.	Conclusiones	70
VII.	Recomendaciones.....	72
VIII.	Bibliografía.....	73
Anexos	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ingresos por Exportación de Banano (2020-2022).....	3
Ilustración 2. Tipos de Biomasa y Sus Derivados	8
Ilustración 3. Generación de Energía 2021	10
Ilustración 4 Bioenergía en la Matriz Energética.....	11
Ilustración 5. División Porcentual de Máximos Consumidores (2010-2019)	12
Ilustración 6. Aumento del Consumo Total de Biocombustibles (2010-2019)	13
Ilustración 7. Distribución Porcentual del Consumo Total de Biocombustibles (2010-2019).....	13
Ilustración 8. Planta de Globo	18
Ilustración 9 Domo Fijo.....	18
Ilustración 10 Tambor Flotante.....	19
Ilustración 11. Políticas de Impulso para el Desarrollo de Biocombustibles en Honduras.....	20
Ilustración 12 Metodología de la Investigación	21
Ilustración 13 Diagrama de Variables de Investigación.....	22
Ilustración 14 Variables Independientes	26
Ilustración 15. Ubicación geográfica de Plantaciones de Chiquita	32
<i>Ilustración 16. Directriz</i>	33
Ilustración 17. Excavación de zanja	35
Ilustración 18. Recubrimiento de Zanja	36
Ilustración 19. Armado e Introducción del Depósito	37
Ilustración 20. Salida para Tubería de Biogás.....	38
Ilustración 21. Esquema de tubería de PVC	39
Ilustración 22. Biodigestor Finalizado.....	39

Ilustración 23. Vista aérea AutoCAD	40
Ilustración 24. Gráfico Resumen de Consumo Energético	48
Ilustración 25. Flujo de Efectivo Acumulado.....	69
Ilustración 26. Zona de cultivo Finca Santa Rosa.....	74
Ilustración 27. Motores de Riego Finca Santa Rosa	74
Ilustración 28. Zanja para Instalación de Biodigestor	75
Ilustración 29. Recolección de la Fruta de Rechazo.....	75
Ilustración 30. Adaptador de 3/4" a 1/2"	75
Ilustración 31 Biodigestor Instalado sin Mezcla Dentro.....	76
Ilustración 32. Hoja de Cálculos para Análisis Financiero.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos de Conversión de Biomasa.....	9
Tabla 2. Máximos productores de biocombustibles.....	12
Tabla 3. Demanda de Biocombustibles en Latinoamérica.....	14
Tabla 4. Generación de Energía 2022-2024	15
Tabla 5. Capacidad Instalada en Biomasa.....	16
Tabla 6. Ubicación y Datos Climatológicos.....	32
Tabla 7. Consumo Energético Total	47
Tabla 8. Consumo Energético por Área.....	47
Tabla 9. Temperatura por Regiones.....	49
Tabla 10. Solidos Totales.....	52
Tabla 11. Temperatura por Regiones	54
Tabla 12. Dimensionamiento de 1 Biodigestor Real.....	57
Tabla 13. Dimensionamiento de 2 Biodigestores Reales	58
Tabla 14. Dimensionamiento de 3 Biodigestores Reales	59
Tabla 15. Dimensionamiento de 4 Biodigestores Reales.....	60
Tabla 16. Dimensionamiento de 5 Biodigestores Reales.....	61
Tabla 17. Dimensionamiento de 6 Biodigestores Reales.....	62
Tabla 18. Construcción de Biodigestor.....	65
Tabla 19. Compra de Grupo Electrónico	66
Tabla 20. Costos por Servicios de Construcción e Instalación.....	67
Tabla 21. Resumen de Costos Iniciales del Proyecto.....	67
Tabla 22. Parámetros de Entrada para Análisis Económico	68
Tabla 23. Parámetros de Salida de Análisis Económico	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Bananos de Rechazo.....	34
Ecuación 2. Consumo Energético Promedio	34
Ecuación 3. Desembolso por Área.....	34
Ecuación 4. Consumo por Área.....	34
Ecuación 5. Potencial Energético Bruto	41
Ecuación 6. Potencia del Generador	41
Ecuación 7. Potencial de Generación Real.....	41
Ecuación 8. Energía Generada Mensualmente.....	42
Ecuación 9. Equivalencia en Lempiras	42
Ecuación 10. <i>Volúmen Líquido</i>	50
Ecuación 11. Volumen Gaseoso.....	50
Ecuación 12. Volumen Total.....	51
Ecuación 13. Sólidos Totales.....	52
Ecuación 14. Sólidos Volátiles	53
Ecuación 15. Producción de Biogás	53

I. INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años la humanidad se ha desarrollado de una manera extraordinaria creando diferentes herramientas y materiales para la subsistencia propia, sin embargo, estos avances han traído consigo algunas desventajas y entre ellas el cambio climático. Actualmente el planeta Tierra se encuentra en una situación ambiental delicada debido a los cambios y efectos negativos que ha traído consigo la utilización de diferentes químicos o recursos como el petróleo. El petróleo es un compuesto que desde su descubrimiento ha sido aplicado para el desarrollo de nuevas tecnologías como lo son los medios de transporte, también es utilizado por el área industrial para la fabricación de productos, sin embargo, los gases emitidos por el uso de este producto han generado daños casi irreversibles y es por eso que hoy en día como seres habitantes de este planeta estamos en la obligación de contribuir de cualquier manera posible a la disminución de estos daños.

Según un estudio realizado por BNamericas la demanda de energía eléctrica en Honduras crecerá un 3,05% entre el presente año y el año 2023 es por eso necesario buscar nuevas maneras de obtener energías limpias a un menor costo y lograr cubrir esa demanda. Honduras es un país cuya economía se basa en la agronomía y la pesca siendo reconocida por sus frutos exportados como el café, la caña y el banano, las condiciones climatológicas y posición geográfica le permiten cultivar estos frutos a grandes escalas. Lo antes mencionado a lo largo de los años ha llamado la atención de grandes empresas dedicadas al sector de la agricultura como lo es la compañía Chiquita Honduras Company Ltd. que desde su instalación en el territorio hondureño ha generado grandes ingresos a la economía del país, así como oportunidades laborales para la comunidad hondureña.

Chiquita Honduras Company es una empresa que hoy cuenta con una amplia extensión territorial destinada al cultivo de fruta (banano) en todo el país, siendo el municipio de La Lima su sede principal donde actualmente cuenta con 8 fincas, dentro de estas fincas se producen grandes cantidades de banano que se rechaza por no cumplir con las normas de calidad.

¿Qué se hace con esa fruta? Es ahí donde nace la visión de este proyecto, en Honduras se aplican diferentes tipos de tecnología para la obtención de energía renovable como geotérmica, hidráulica, eólica, solar, etc.... También se aplica la biomasa siendo su principal recurso los desechos de la caña de azúcar, entonces se da la oportunidad de implementar este tipo de tecnología con la fruta de rechazo proveniente del banano. En el siguiente proyecto se desarrollará una amplia investigación para determinar si es factible de manera que esta nueva tecnología pueda ser aplicada dentro de la compañía Chiquita Honduras Company y de esa manera poder cubrir o satisfacer sus necesidades energéticas, que, de ser así impactaría de una manera positiva tanto la economía como la misión ambiental de la empresa.

Según diferentes estudios se ha demostrado que el banano tiene un potencial energético óptimo para su aplicación en el desarrollo de biogás sin embargo esta implementación no se ha desarrollado a niveles industriales, hasta el momento no se ha desarrollado la generación de biogás en base a este tipo de materia prima, en el siguiente proyecto se pretende realizar un prototipo que sea óptimo para la aplicabilidad del banano de rechazo como materia prima para la obtención de biogás y el diseño de un sistema capaz de procesar toda la materia prima disponible en la empresa.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las siguientes secciones se estará describiendo la naturaleza del problema a investigar y al cual se pretende brindar una solución viable y efectiva. Con el afán de dilucidar el origen de esta problemática se presentará una amplia descripción acerca del mismo y se argumentará la importancia de brindarle una resolución positiva.

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Con el surgimiento de los fenómenos naturales Eta e Iota en el mes de noviembre de 2020 la actividad bananera se vio amenazada de una manera considerable y a su vez la estabilidad económica del país. Según el BCH (Banco Central de Honduras), los ingresos FOB por exportación de banano representan el 12.82%, 5.21% y 8.61% de los ingresos totales anuales por exportaciones FOB, para los años 2020, 2021 y 2022 respectivamente. Habiéndose visto tan afectado este sector nace la iniciativa por optimizar la actividad bananera, y simultáneamente la estabilidad económica de las sociedades dependientes del banano.

En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de los ingresos por exportación de banano, reflejando el impacto para el año 2021 de las depresiones tropicales Eta e Iota. Es imprescindible hacer hincapié en la depresión del año 2021 respecto a 2020, habiendo una disminución de \$ 128,004,800.

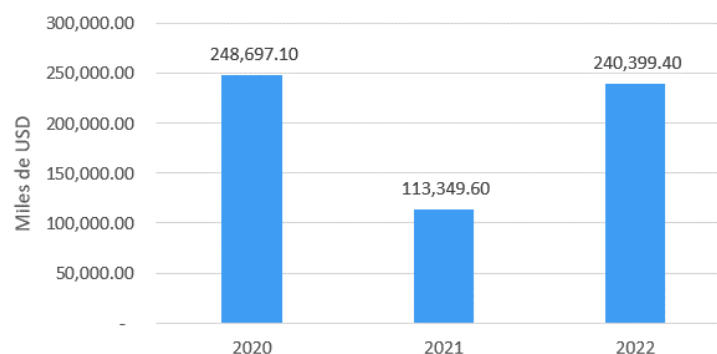


Ilustración 1. Ingresos por Exportación de Banano (2020-2022)

Elaboración Propia. Basado en Informe de Comercio Exterior de Mercancías Generales a mayo de 2022, Banco Central de Honduras

Sánchez (2017) "En Honduras se produce un promedio de entre 70 y 80 toneladas de banano al año, de las cuales se exporta el 60%." Ese 60% es exportado luego de someterse a una impecable revisión para ser exportados, pero ¿Qué pasa con la fruta que no pasa la prueba de calidad? Durante años esta fruta rechazada simplemente es desechada para su putrefacción y eventualmente desaprovechada, es ahí donde se origina la conjetura de obtener biogás y derivados por medio del banano.

Se estima que en Honduras de las 70-80 toneladas que se producen, un 6% es considerado desperdicio dando alrededor de 4.5 toneladas disponibles para producción de biogás.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Se pretende disminuir en su totalidad la cantidad de banano desperdiciado para contribuir a la recuperación económica de Chiquita Honduras Company y a su vez brindar soluciones ambientales y económicas. Además, el siguiente estudio servirá como fundamento para futuras investigaciones sobre la viabilidad del banano como biocombustible, su aplicabilidad en la industria bananera y el impacto económico y energético que este puede causar en el país, explicar el desarrollo de un prototipo de biodigestor que sea aplicable para el aprovechamiento del banano como forma de biocombustible y llegar a conclusiones representativas.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Durante muchos años los combustibles fósiles han sido la mayor fuente para la generación de energía en el mundo, sin embargo, esto nos ha dejado incontables daños ambientales, es por eso que hoy en día el aprovechamiento de nuevas formas de obtención de energía ha tenido un auge significativo en el aspecto económico y energético. Honduras es uno de los países en Centroamérica que más ha desarrollado y aprovechado estos nuevos medios, creando en las últimas décadas granjas solares, parques eólicos, represas hidroeléctricas e incluso pozos geotérmicos, también cabe destacar que gran parte de la economía del país se basa en la agricultura y no obstante a eso la biomasa es una de las formas de generación de energía menos

utilizadas en el país. En Honduras la industria bananera comenzó con la llegada de Cuyamel Fruit Company en 1912 y desde entonces ha sido parte importante de la economía del país generando empleos y dándole ingresos importantes por medio de la exportación de banano, pero durante todos estos años la materia prima que no pasa la prueba de calidad para su exportación ha sido desaprovechada al dejarla abandonada para su putrefacción y posteriormente convertirse en abono para la tierra, también se estima que alrededor del mundo la parte más utilizada del banano y/o plátano es su pulpa desechando la cascara como desperdicio la cual representa un 40% de la fruta, es ahí donde nace la idea de la creación de un biodigestor que pueda ser empleado para el aprovechamiento de esta materia orgánica en forma de biocombustible y por ende realizar un estudio que ayude a determinar de qué manera todo este desperdicio puede ser útil para la generación de biocombustible.

En el caso específico de Honduras se estima que un 6% de la producción anual es desechada por lo que este proyecto tomara lugar en el municipio de La Lima, Cortes, en las zonas de cosecha de la empresa Chiquita Honduras Company Ltd. para determinar específicamente cuanta materia prima es descartada en el lugar y estimar la viabilidad de la misma como biocombustible, así mismo se harán pruebas a pequeña escala con el prototipo del biodigestor a crear para examinar cuales serían los beneficios económicos y energéticos que la empresa tendría con la implementación del mismo haciendo uso del banano rechazado. Al demostrarse la viabilidad tanto del biodigestor como del uso del banano para la obtención de biogás, la empresa visará beneficios importantes, como ser la reducción del consumo energético pues el biogás generado por medio de los recursos anteriormente mencionados, será utilizada por ellos mismos. De igual manera, esto generará un beneficio económico al disminuir el pago por consumo eléctrico y también otras variables como ser la limpieza de la zona de sus cosechas pues la materia prima rechazada será utilizada y no simplemente puesta en un lugar para su putrefacción.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuánta materia prima es desperdiciada en las cosechas de la empresa Chiquita Honduras Company Ltd.?
2. ¿Cuál es el potencial energético del banano para la generación de biogás y energía eléctrica?
3. ¿Cómo es el proceso químico al que se debe someter el banano para ser aprovechado como biocombustible?
4. ¿Cuál es el esquema por seguir para la elaboración de un biodigestor cuya aplicabilidad esté orientada al aprovechamiento del guineo como biocombustible?
5. ¿Cuánto sería la inversión de la empresa Chiquita Honduras Company Ltd., para la implementación de un biodigestor en su zona de cosecha?
6. ¿Cuáles serían los beneficios económicos y energéticos para Chiquita Honduras Company Ltd. con la implementación de un biodigestor en base a su propia materia orgánica descartada?

2.5. OBJETIVOS

2.5.1. OBJETIVOS GENERAL

1. Diseñar un biodigestor compatible con el residuo orgánico de las cosechas de guineo para evaluar la factibilidad de generación de biogás que pueda ser empleado en otros procesos de producción

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Compilar datos de la cantidad de materia orgánica descartada en la empresa bananera Chiquita Honduras Company Ltd. y la composición de la misma.

2. Calcular en base a la cantidad convertida de biogás en el biodigestor, el potencial de generación de energía eléctrica.

3. Definir el proceso químico detrás de la digestión anaerobia y la conversión de biogás.

4. Elaborar un biodigestor adecuado para el aprovechamiento de la materia orgánica desechada del guineo como biocombustible.

5. Determinar los costos de la implementación del proyecto en las zonas de cosecha de Chiquita Honduras Company Ltd.

6. Determinar el consumo de energía eléctrica implicado en el proceso de cosecha y/o producción del guineo y la viabilidad del biodigestor en beneficio de la empresa Chiquita Honduras Company Ltd.

III. MARCO TEÓRICO

Habiendo plasmado la problemática que se pretende resolver y las metas a alcanzar se pone a disposición del lector todas las temáticas necesarias vinculadas al proyecto que sean necesarias para la correcta comprensión del tema de investigación y su importancia.

3.1. BIOMASA

Se puede entender por biomasa toda aquella materia de origen orgánico, por ejemplo: plantas, árboles e incluso desechos orgánicos originados por actividades industriales, comerciales e incluso residenciales.

En la ilustración 1 se presentan los diferentes tipos de biomasa y sus derivados:

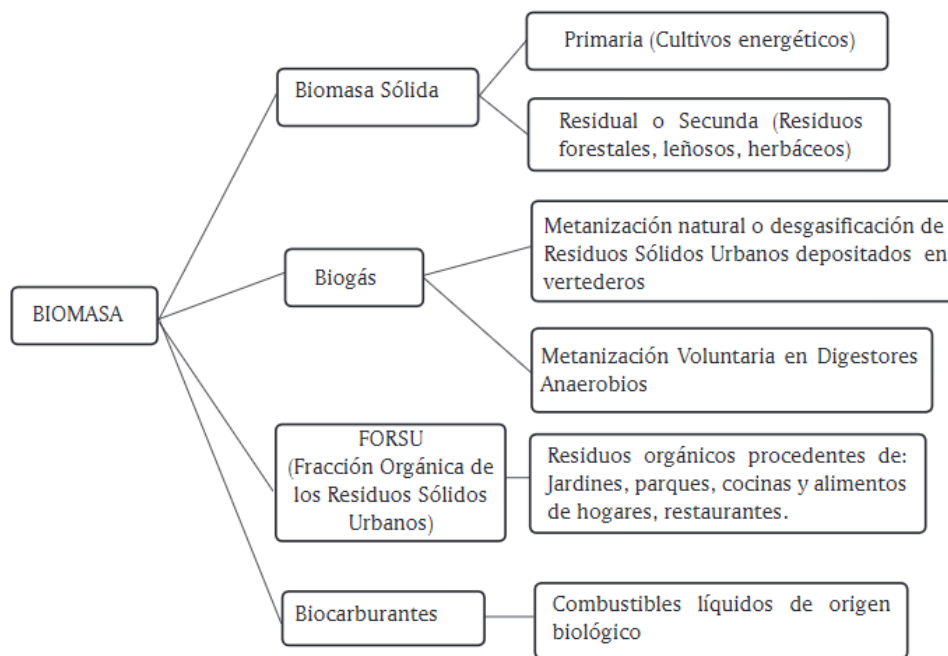


Ilustración 2. Tipos de Biomasa y Sus Derivados
Fuente: (Quintero, 2015)

De acuerdo con Karaj et ál. (2010) hay tres tipos de fuentes de energía de biomasa, se incluyen los cultivos bioenergéticos, residuos agrícolas y residuos forestales. En la producción energética a partir de biomasa se debe hacer una clara distinción entre el proceso termoquímico que incluye combustión, pirólisis y gasificación, y el proceso bioquímico que reconoce la fermentación y digestión anaerobia para el caso específico de la biomasa.

En la ilustración siguiente, se muestran los diferentes procesos de conversión al cual se puede someter la biomasa y el producto final de estos procedimientos:

Tabla 1. Procesos de Conversión de Biomasa

PROCESO DE CONVERSIÓN	SOLUCIONES TECNOLÓGICAS	PRODUCTO FINAL
Procesos termoquímicos	Combustión	Vapor
		Procesos de calor
	Gasificación	Energía eléctrica
		Vapor
		Procesos de calor
		Energía eléctrica
Procesos bioquímicos	Pirolisis	Gas combustible metano
		Carbón
	Fermentación	Bio-carbón
		Gas combustible
Digestión anaeróbica	Digestión anaeróbica	Etanol
		Agua para riego
		Compost
		Biogás

Fuente: (Quintero, 2015)

3.2. PANORAMA ENERGÉTICO DE LA BIOENERGÍA

En el panorama energético mundial la biomasa parece, a simple vista, no representar un papel importante. Es de aproximadamente un 2% el valor que representa la bioenergía para la generación de energía eléctrica mundial, sin embargo, no se toma en cuenta toda la biomasa que se utiliza en las zonas rurales para cocinar o bien, generar calor.

A continuación, se presenta la participación de la generación de electricidad mundial por fuente de energía hasta el año 2021.

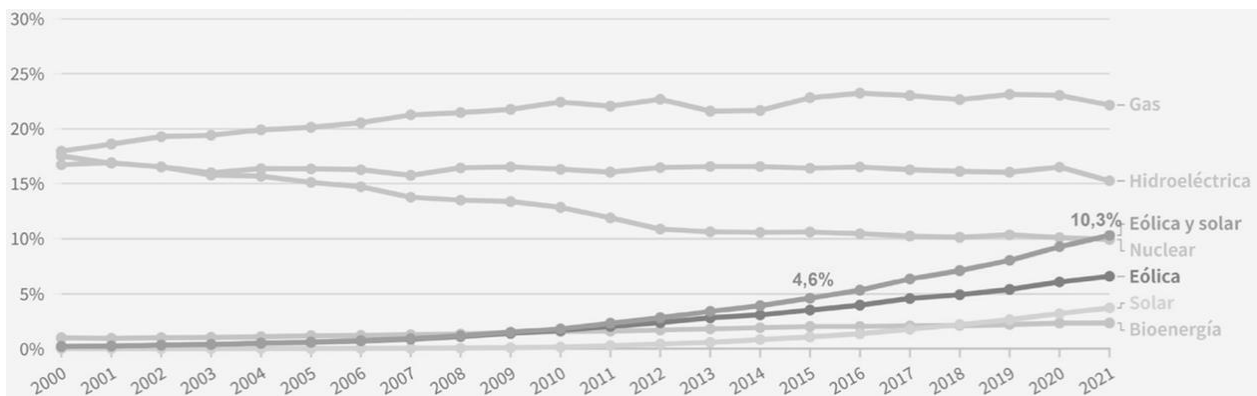


Ilustración 3. Generación de Energía 2021

Fuente: (EMBER, 2022)

Si bien no se considera la proporción de biomasa no utilizada para generar energía eléctrica, Honduras es uno de los países con mayor generación de energía eléctrica por bioenergías.

En la ilustración a continuación se muestra el porcentaje que representa la bioenergía en la matriz de generación eléctrica de los países más destacados mundialmente.

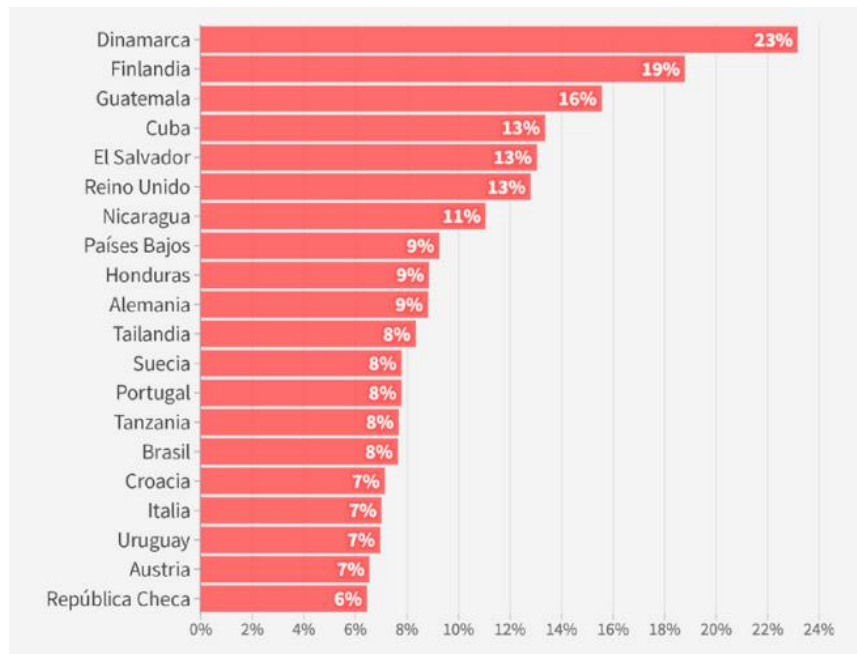


Ilustración 4 Bioenergía en la Matriz Energética
Fuente: (EMBER, 2022)

En la última década (2010-2019) dos países han liderado lo que es tanto el consumo como la producción de biocombustibles, como el bioetanol y el biodiésel, durante esta última década el consumo alrededor del mundo ha aumentado un 67% y la producción ha aumentado 53% siendo Estados Unidos y Brasil los máximos protagonistas a nivel mundial:

Tabla 2. Máximos productores de biocombustibles

	Producción	Consumo
Estados Unidos	40%	38%
Brasil	23%	23%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (Root, 2019).

Otros países como Indonesia, China y Alemania también forman parte de los países que más producen biocombustible, sumando un 11% de la producción a nivel mundial, el otro 26% está dividido entre numerosos países.

En la *Ilustración 5* se puede apreciar el incremento en la producción total de Bioetanol y Biodiésel desde el año 2010 hasta el año 2019 medido en m3.

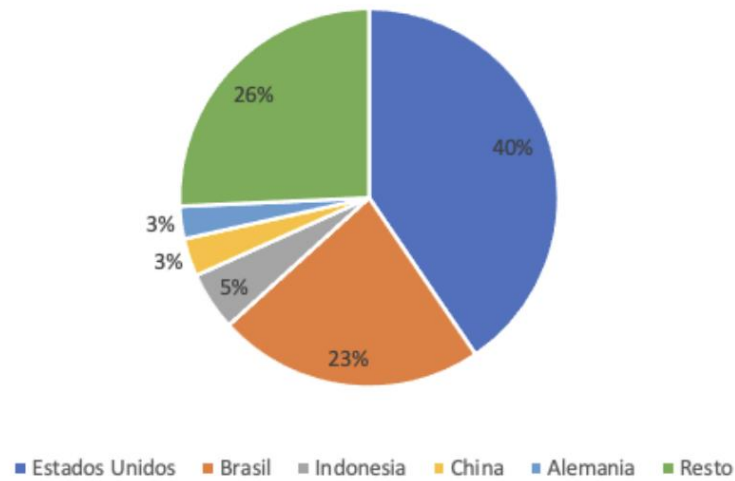


Ilustración 5. División Porcentual de Máximos Consumidores de Biocombustibles (2010-2019)

Fuente: repositorio.iica.int (2020)

En la *Ilustración 6* se muestra el porcentaje de distribución por cada uno de los países que destacan como máximos productores de biocombustible en el mundo.

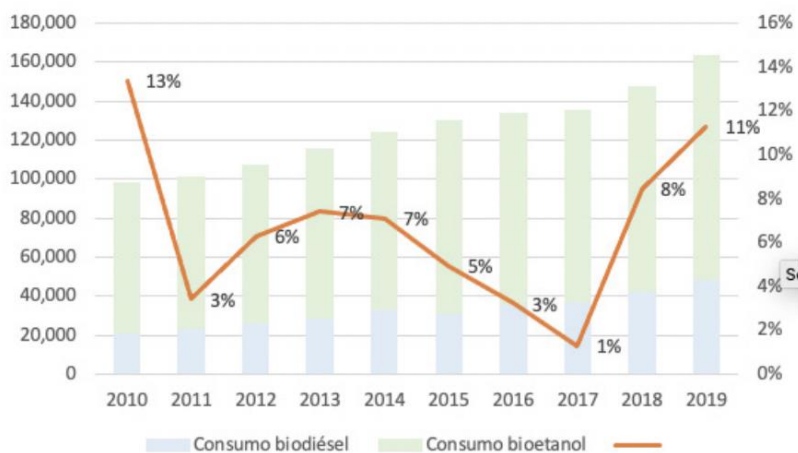


Ilustración 6. Aumento del Consumo Total de Biocombustibles en la Última Década (2010-2019)
Fuente: repositorio.iica.int (2020)

En la *Ilustración 7* se puede apreciar el consumo total de Bioetanol y Biodiésel a nivel global desde el año 2010 hasta el año 2019 medido en m^3 .

China e Indonesia también se encuentran dentro de la lista de los máximos consumidores en la última década (2010-2019) seguidos por Francia, formando un total del 10% del consumo total del biocombustible en el planeta, el otro 29% está conformado por diversos países.

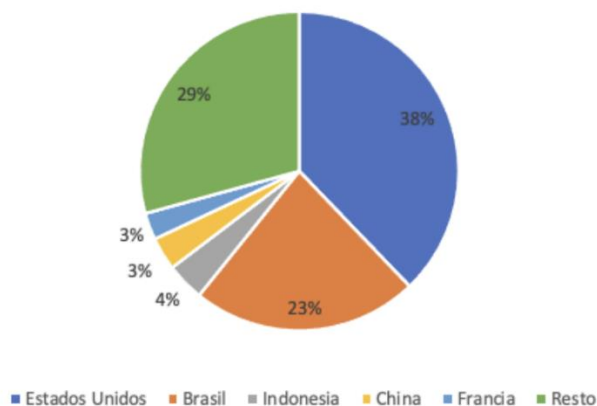


Ilustración 7. Distribución Porcentual por País del Consumo Total de Biocombustibles (2010-2019)
Fuente: repositorio.iica.int (2020)

Anteriormente, se habló de los niveles de consumo y producción a nivel mundial donde, hasta el momento, a pesar de que Honduras destina la mayoría de su economía a la agronomía, no ha aprovechado sus recursos para la producción del biogás, sin embargo, se encuentra en los primeros 10 países latinoamericanos que tienen mayor demanda de este.

Tabla 3. Demanda de Biocombustibles en Latinoamérica

País	Demanda al año 2020	
	Bioetanol	Biodiesel
	(ktep)	
Brasil	12 673	5711
Argentina	713	1506
Bolivia	76	87
Chile	360	788
Colombia	532	560
Costa Rica	137	114
Ecuador	263	320
El Salvador	101	104
Guatemala	189	271
Honduras	76	83
México	4760	2045
Nicaragua	35	48
Panamá	104	108
Paraguay	24	164
Perú	135	300
Trinidad y Tobago	84	58
Uruguay	36	120
Rep. Bolivariana de Venezuela	1739	370
TOTAL	22 035	12 756

La ODS con el apoyo de profesionales expertos en el tema, realiza pronósticos de generación en base a estadísticas para todas las tecnologías disponibles en el país. La tabla 4, muestra la conformación de la matriz de generación del Sistema Interconectado Nacional para los años 2022, 2023 y 2024.

Tabla 4. Generación de Energía 2022-2024

Tecnología	2022		2023		2024	
	Energía [GWh]	[%]	Energía [GWh]	[%]	Energía [GWh]	[%]
Térmica	4,736.80	41.77%	5,026.44	42.86%	5,060.55	41.58%
Hidroeléctrica regulable	2,502.43	22.07%	2,735.34	23.32%	3,012.08	24.75%
Hidroeléctrica de pasada	770.67	6.80%	666.18	5.68%	942.41	7.74%
Solar fotovoltaica	1,095.01	9.66%	1,099.66	9.38%	1,120.12	9.20%
Eólica	796.16	7.02%	796.04	6.79%	793.57	6.52%
Biomasa	910.95	8.03%	882.19	7.52%	714.26	5.87%
Geotérmica	320.74	2.83%	320.74	2.73%	321.62	2.64%
MER Oportunidad	88.07	0.78%	79.68	0.68%	82.00	0.67%
MER Contratos	112.90	1.00%	114.31	0.97%	118.74	0.98%
Déficit	6.59	0.06%	7.57	0.06%	6.30	0.05%
Total	11,340.32	100.00%	11,728.14	100.00%	12,171.65	100.00%

Fuente: (ODS, 2021)

Según la Planificación Operativa 2022-2024 ODS: No se esperan mayores cambios para el sector biomasa durante el período 2022-2024, para el pronóstico se asignó una proyección de generación de acuerdo con los registros históricos de generación horaria 2018 – 2021 de cada una de las plantas en el sistema SCADA ENEE – ODS.

A continuación, se presenta el desglose del sector biomasa en el país y la capacidad instalada de cada uno de los proyectos de generación.

Tabla 5. Capacidad Instalada en Biomasa

	Nombre	Capacidad Instalada [MW]	Zona	Subestación
1	CELSUR	20	Sur	Pavana
2	LA GRECIA	32	Sur	Pavana
3	TRES VALLES	22	Centro	El Porvenir
4	LOS PINOS	3.5	Centro	Guaimaca
5	MERENDÓN POWER PLANT	20	Norte	Merendón
6	GREEN POWER	44	Norte	Merendón
7	CARACOL KNITS	20	Norte	Caracol
8	CHUMBAGUA	20	Norte	Naco
9	IHSA	12.5	Norte	Villa Nueva
10	CAHSA	33	Norte	La Lima
11	YODECO	1	Norte	Yoro
12	ECOPALSA	3	Litoral	Guaimas
13	ACEYDESA	4	Litoral	Bonito Oriental
Total		235		

Fuente: (ODS, 2021)

3.3. CONTEXTO DE LA INDUSTRIA BANANERA Y POTENCIAL DE LA BIOMASA EN HONDURAS

En Honduras hay alrededor de dieciocho mil (18,000) hectáreas dedicadas a la producción de banano, de las cuales solo tres mil (3,000) pertenecen a comerciantes independientes, las otras quince mil (15,000) están divididas entre dos grandes empresas que son Dole y Chiquita Honduras Company Ltd. Cada hectárea está diseñada o capacitada para producir un promedio de entre mil doscientas (1,200) y mil cuatrocientas (1,400) cajas de banano. Chiquita es una empresa ubicada en más de 70 países, los cuales han sido superados en producción por la sede ubicada en Honduras, la cual produce alrededor de 13 millones de cajas al año que están destinadas a la exportación de un 95% hacia Estados Unidos, dejando ganancias de más de noventa millones (90,000,000) de dólares (\$) en divisas al país.

Debido a los altos niveles de contaminación, muchos países han buscado alternativas para la reducción de los gases de efecto invernadero, una de las opciones más viables que han surgido es el uso de biocombustibles a partir de materia orgánica, por lo que se han utilizado diversos recursos como ser la caña de azúcar, el maíz, entre otros. Esto es debido al alto poder calorífico que estos recursos poseen, sin embargo, hasta el momento no existe producción de biogás a nivel industrial en base a banano, a pesar de que varios estudios han demostrado que posee un gran potencial para su utilización como biocombustible.

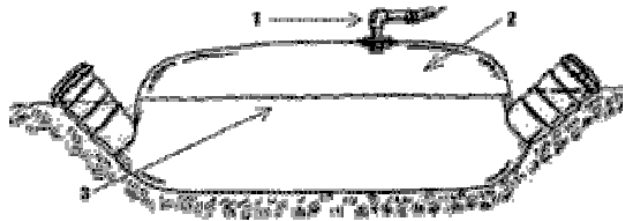
En la tesis "ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA OBTENCIÓN DE BIOCMBUSTIBLE A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO Y SU USO EN COCINAS ACONDICIONADAS DE LA INDUSTRIA CHIFLERA EN LA CIUDAD DE PIURA, PERÚ" se menciona que: "en Colombia, el Grupo de Investigación en Bioprocesos y Flujos Reactivos de la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo de la Asociación de Bananeros de Colombia, tomaron muestras de tallos, algunos recién cortados de la planta bananera y otros con semanas y meses de haber sido talados. El objetivo era evaluar los cambios en la composición de los vástagos y en la maduración del banano, además del contenido de azúcares y almidón. Durante los análisis, se evidenció que en los primeros estados de madurez de la fruta se almacena más almidón. Esta etapa del banano fue aprovechada para adicionarle enzimas (proteínas que ayudan a que las reacciones químicas ocurran con mayor rapidez) y producir el jarabe que se basa en la celulosa y el almidón del banano, siendo estos materiales de gran utilidad para la industria de hidrocarburos." (Zola, Barranzuela, Castillo, Correa, Rey, 2016).

3.4. TIPOS DE BIODIGESTORES

Un biodigestor es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacena basura orgánica mezclada con agua que, al descomponerse en ausencia de aire, genera biogás. Se suele definir por el diseño en función de las variables ambientales o de utilización del sistema.

3.4.1. PLANTAS DE GLOBO

Tiene en la parte superior un digestor de bolsa en el cual se almacena el gas, la entrada y salida se encuentran al mismo nivel y en la misma superficie, es el tipo de biodigestor más simple.



- 1.- Válvula de salida
- 2.-Almacenamiento de biogás
- 3.-Nivel de agua con materia orgánica

Ilustración 8. Planta de Globo

Fuente: (Corona, 2007)

3.4.2. DOMO FIJO

Consiste en un recipiente fijo para gas, que se coloca en la parte superior del digestor. Cuando comienza la producción de gas, la mezcla se desplaza hacia el tanque de compensación.

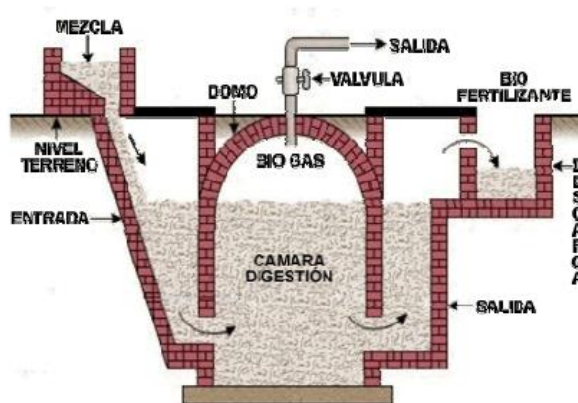


Ilustración 9 Domo Fijo

Fuente: (Corona, 2007)

3.4.3. TAMBOR FLOTANTE

Consiste en un digestor subterráneo y un recipiente móvil para gas. Este recipiente flota, ya sea sobre la mezcla de fermentación o en una chaqueta de agua. El gas es recolectado en el tambor de gas, que se levanta o baja, de acuerdo con la cantidad de gas almacenado.

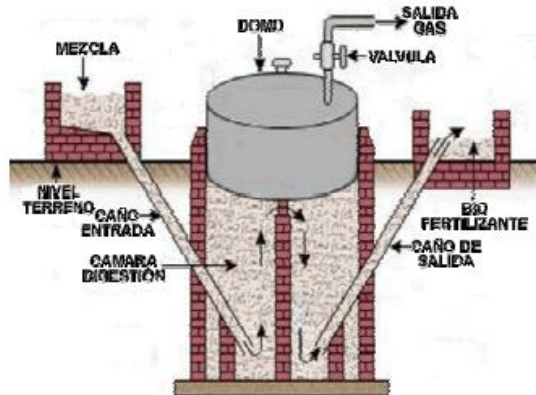


Ilustración 10 Tambor Flotante

Fuente: (Corona, 2007)

3.5. BIOGÁS

El biogás es un gas renovable compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono obtenido a partir de la degradación anaerobia –sin oxígeno– de residuos orgánicos. Es, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España, “la única energía renovable que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante”.

Se trata por tanto de transformar residuos ganaderos, agroindustriales y lodos de depuradoras de agua, pero también parte de los residuos domésticos. La basura se convierte así en la materia prima de una fuente de energía.

El biogás es el resultado de la descomposición de la materia orgánica. Para poder aprovechar los gases resultantes es necesario contar con una planta en la que se pueda tanto almacenar los residuos como dejar a las bacterias hacer su trabajo. Esto se puede llevar a cabo en plantas de biogás específicas o directamente en complejos para la gestión de residuos.

El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H2), nitrógeno (N2), oxígeno (O2) y sulfuro de hidrógeno (H2S).

3.6. MARCO REGULATORIO

Al tener una gran demanda y debido a los altos niveles de contaminación alcanzados, Honduras ha sido uno de los países que ha creado políticas para impulsar el desarrollo de biocombustibles y otras energías renovables, como, por ejemplo:

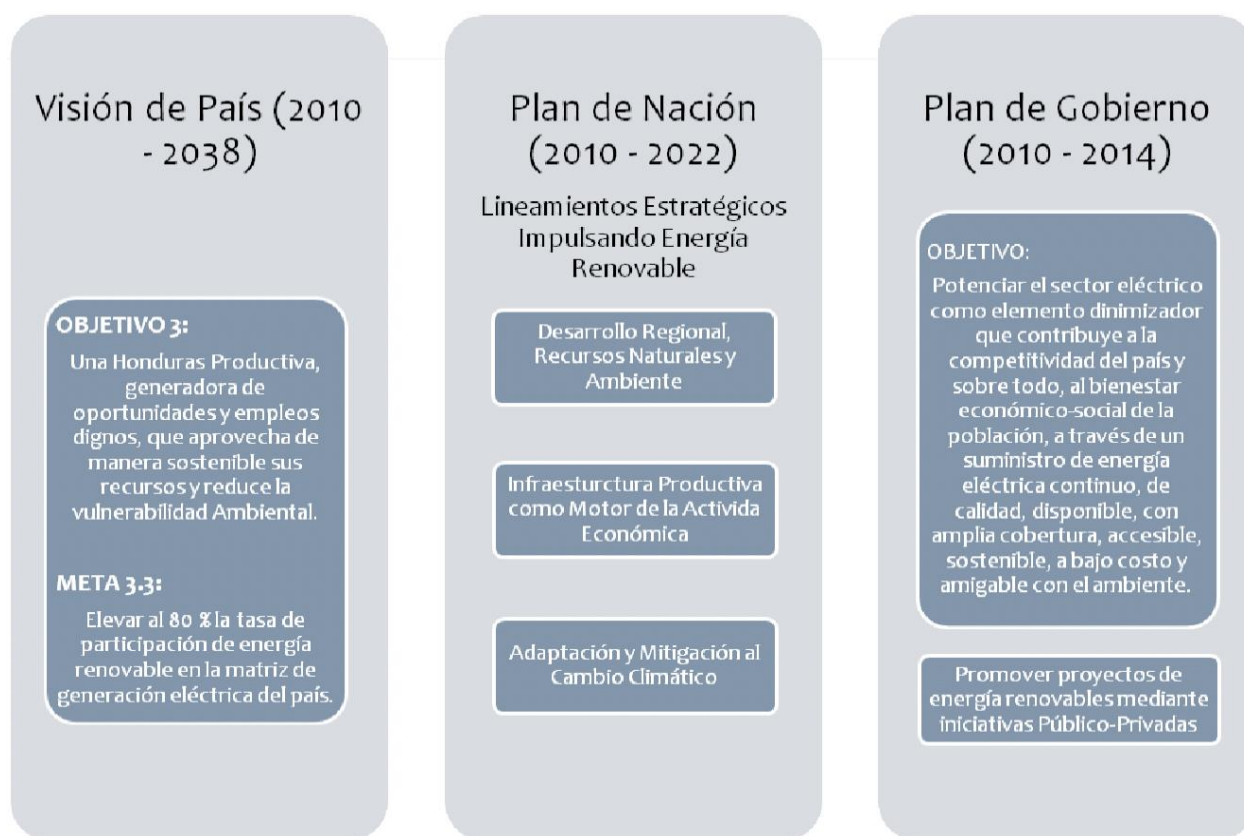


Ilustración 11. Políticas de Impulso para el Desarrollo de Biocombustibles en Honduras
Fuente: <http://www.oas.org/> (2012)

IV. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el procedimiento a seguir durante la ejecución de la investigación, su enfoque y variables con el propósito de brindar un panorama más claro acerca del problema a resolver y la propuesta del proyecto en cuestión.

4.1. ENFOQUE

La investigación en cuestión estará basada en un enfoque cuantitativo con la intención de brindar cálculos ingenieriles que contribuyan a un posterior análisis, dejando por fuera opiniones y la subjetividad. Estos datos serán obtenidos mediante registros y presentados mediante tablas, gráficos y diagramas para su fácil comprensión.

Con la intención de especificar las características del proyecto, recolectar y medir de manera independiente las variables, se utilizará un alcance descriptivo y el tipo de estudio será experimental.

Teniendo en consideración la formación de la metodología se muestra una ilustración con la intención de condensar la información anteriormente provista.

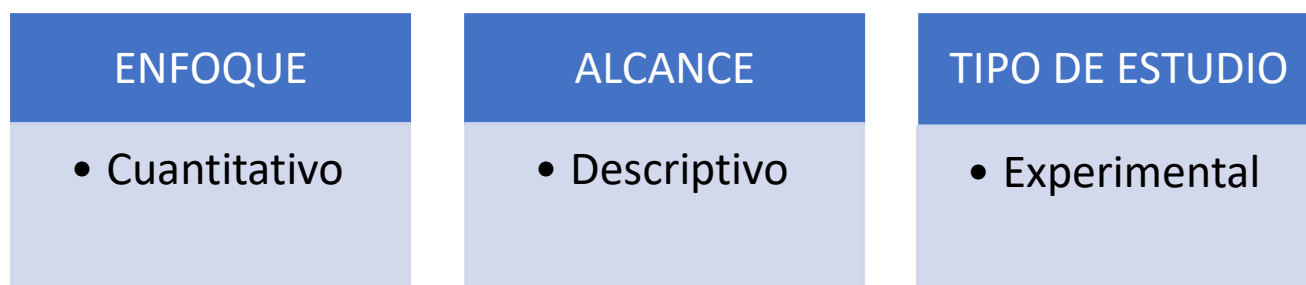


Ilustración 12 Metodología de la Investigación

Fuente: Elaboración propia

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En el presente apartado se presentan las variables de la investigación que tienen un papel fundamental en el proyecto y que conforman a su vez los resultados de la investigación.

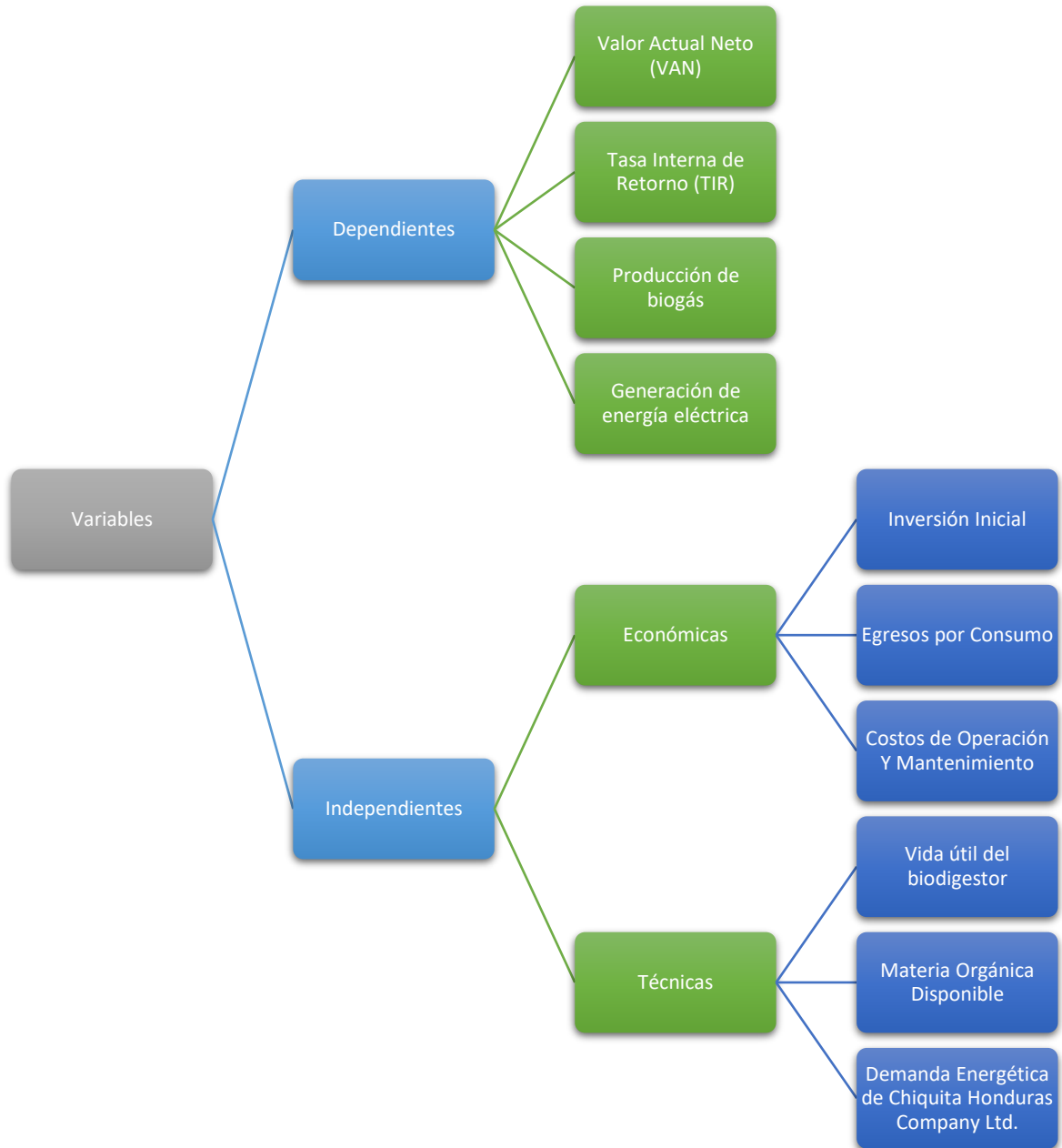


Ilustración 13 Diagrama de Variables de Investigación
Fuente: Elaboración Propia

4.2.1 Variables Dependientes

Se llaman variables dependientes debido a que se verán afectadas por los efectos de las variables independientes de la investigación.

a) (VAN) Valor Actual Neto

El Valor Actual Neto es dato o indicador económico para determinar la viabilidad del proyecto a realizar. Si al estima el valor a futuro de los flujos de los egresos e ingresos y luego se resta la inversión inicial se obtiene un resultado menor a cero, significa que es negativo, es decir no viable o factible, si el resultado es igual a cero quiere decir que no hay ganancias ni pérdidas, es decir que las ganancias serían las mismas que el costo de la inversión inicial y si los resultados son mayores a cero quiere decir que es positivo en pocas palabras significa que el proyecto es rentable y se obtendrían ganancias luego de recuperar el monto de la inversión inicial.

Ecuación de Valor Actual Neto:

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

Donde:

VAN: Valor Presente Neto (\$)

N: Numero de Periodos (-)

N: Periodo de Evaluación (-)

In: Ingresos de Efectivo (\$)

En: Egresos de Efectivo (\$)

i: Tasa de Interés (%)

b) (TIR) Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno se aplica para estimar la factibilidad del proyecto. Esto nos ayuda a determinar si la idea de proyecto a realizar es viable para realizar una inversión, de tal manera que se pueda elaborar un plan para evitar o reducir riesgos de pérdida y generar el máximo de ganancias posible.

Ecuación de Tasa Interna de Retorno:

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

Donde:

TIR: Tasa Interna de Retorno (%)

N: Numero de Periodo (-)

n: Periodo de Evaluación (-)

Qn: Flujo de Caja en el Periodo n (\$)

I: Valor de la Inversión Inicial (\$)

c) Producción de Biogás

El biocombustible o biogás se produce por medio de la descomposición de materia orgánica como ser frutas, vegetales o sus derivados, esto es debido a que son sometidos a un proceso bioquímico por las bacterias cuando se encuentran sin oxígeno, es ahí donde producen un gas que es una combinación entre muchos gases principalmente el CH₄ y CO₂, una vez realizado este proceso y bajo ciertas condiciones, dicho gas puede ser de gran utilidad en la función de reemplazo del combustible para el desarrollo de las actividades del diario vivir de los humanos. La utilización del biogás puede producir ciertos contaminantes, pero son mucho menores en comparación a la contaminación que genera la quema diaria de los combustibles fósiles.

d) Generación de Energía Eléctrica

La generación de energía eléctrica dependerá estrictamente de la cantidad de materia prima disponible en la empresa y de los rendimientos de los procesos involucrados en la generación de biogás.

4.2.2. Variables Independientes

Las variables independientes son las que ayudan a determinar los resultados de las variables dependientes tomando en cuenta con cuál de estas es que existe una relación dentro del proyecto a realizar.

En este segmento del capítulo se expondrán dos tipos de variables independientes, que son:

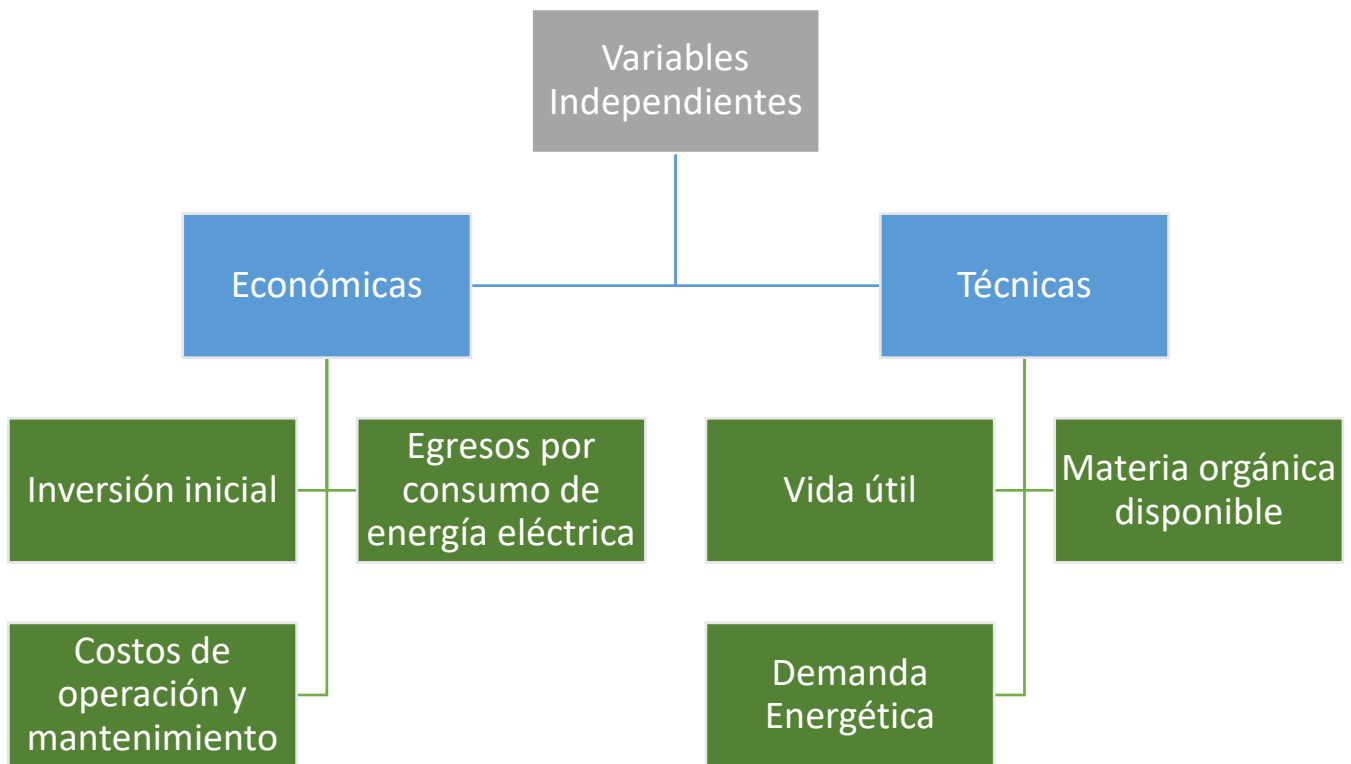


Ilustración 14 Variables Independientes

Fuente: Elaboración propia

a) Inversión Inicial

La inversión inicial de un proyecto es el monto de dinero necesario o con el que se cuenta para iniciar el desarrollo de este con la expectativa que una vez en funcionalidad se pueda recuperar la inversión inicial y una vez recuperada se pueda generar ganancias, esta variable económica independiente está asociada con las variables dependientes del VAN y la TIR y puede impactarlas en un aspecto negativo ya que es el gasto mayor y es sin ella no se puede iniciar el proyecto.

b) Vida Útil

La vida útil de un proyecto es la cantidad de tiempo que se estima el mismo se mantenga en operación, en el caso específico de un biodigestor va a depender mucho del tipo de biodigestor que se implemente ya que existen de diferentes tipos debido a que están elaborados de diferentes materiales.

c) Egresos por Consumo de Energía Eléctrica

Refleja de manera cuantificada y monetaria la cantidad de dinero que se desembolsa Chiquita Honduras Company por la energía eléctrica necesaria para su producción.

d) Costos de Operación y Mantenimiento

Es necesario que para que un proyecto rinda mejor manera los equipos utilizados en su operación estén en las mejores condiciones por eso es que se les da un mantenimiento preventivo y correctivo de manera que puedan cumplir su función y no afecten de manera negativa al proyecto.

e) Materia Orgánica Disponible

En este proyecto cuyo principal objetivo es el aprovechamiento del banano como biomasa para la generación de biogás, la cantidad de materia orgánica disponible del mismo tiene un rol principal ya que dependiendo de esta se va a determinar qué tipo de biodigestor es el adecuado a utilizar, es gracias a esta variable donde se puede analizar el cálculo de los ingresos que generara el proyecto y esto favorece a él VAN y la TIR.

f) Demanda Energética

La demanda energética consiste en la magnitud de la necesidad de energía de la empresa, no sólo se considera energía eléctrica, sino también térmica.

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En la siguiente sección se detallan las herramientas que, gracias a su utilidad, formarán parte de la investigación y contribuirán a la recolección de datos y cálculos de generación de biogás y electricidad.

4.3.1. MICROSOFT EXCEL

Microsoft Excel tiene la bondad de servir como un software que contribuya a la condensación de la información y sus cálculos, será de gran utilidad para el análisis de factibilidad del biodigestor.

4.3.2. GOOGLE EARTH

Google Earth es una herramienta que garantiza el acceso a las imágenes satelitales para entender la magnitud del tamaño de las plantaciones bananeras.

4.3.3. AUTOCAD

Con AutoCAD se realizará la elaboración de ilustraciones o esquemas que sea necesario presentar a lo largo del proyecto.

4.3.4. CÁMARA DIGITAL

Servirá como herramienta para registrar la evidencia e información gráfica recolectada durante las visitas al complejo de Chiquita Honduras Company Ltd.

4.3.5. ENTREVISTAS

Se realizarán con el objetivo de recolectar información necesaria para el dimensionamiento y demás análisis pertenecientes a la investigación.

4.3.6. RETSCREEN

Se realizará una simulación en Retscreen con el objetivo de validar los datos obtenidos mediante los cálculos matemáticos.

4.4. MATERIALES

En el siguiente segmento se mostrará en forma de listado cuáles son los materiales a utilizar para la construcción y las herramientas necesarias para llevar a cabo el armado del biodigestor.

4.4.1. LISTA DE MATERIALES

1. Bolsa plástica transparente (7m x 5 m)
2. Bolsa plástica negra (7m x 5m)
3. Tubo de PVC 4" (1.5 m)
4. Tubo de PVC 1/2" (5 m)
5. Reductor de PVC (3/4" - 1/2")
6. Adaptador Macho 3/4"
7. Adaptador Hembra 3/4"
8. 2 te de PVC 1/2"
9. 2 llaves de pase 1/2"
10. 3 codos de PVC 1/2"
11. Pegamento para PVC
12. Alambre (7 pies)
13. Arandelas metálicas
14. 3 cámaras de aire para bicicleta
15. Cinta aislante 3M
16. Cinta de teflón
17. Cinta adhesiva gruesa 3M
18. Botella plástica (2 L)
19. Arena
20. Agua
21. Lija P280

4.4.2. LISTA DE HERRAMIENTAS

1. Sierra para cortar tubería de PVC
2. Tijeras para cortar las cámaras de aire de bicicleta
3. 2 palas para cavar
4. Azadón forjado
5. Cinta Métrica
6. Nivel
7. Manguera

4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

La investigación se lleva a cabo en el municipio de La Lima, departamento de Cortés, Honduras. Se toma como muestra únicamente la finca Santa Rosa y la producción de banano en el sitio. A continuación, se presenta un resumen climatológico y la imagen satelital de las plantaciones de banano pertenecientes a Chiquita Honduras Company Ltd.

Tabla 6. Ubicación y Datos Climatológicos

Coordenadas: (15°24'44.10" N, 87°49'50.23")
Elevación: 23 metros sobre el nivel del mar
Zona Climática: 0A Extremadamente caliente - húmedo

Fuente: Elaboración propia con datos de RETSCREEN

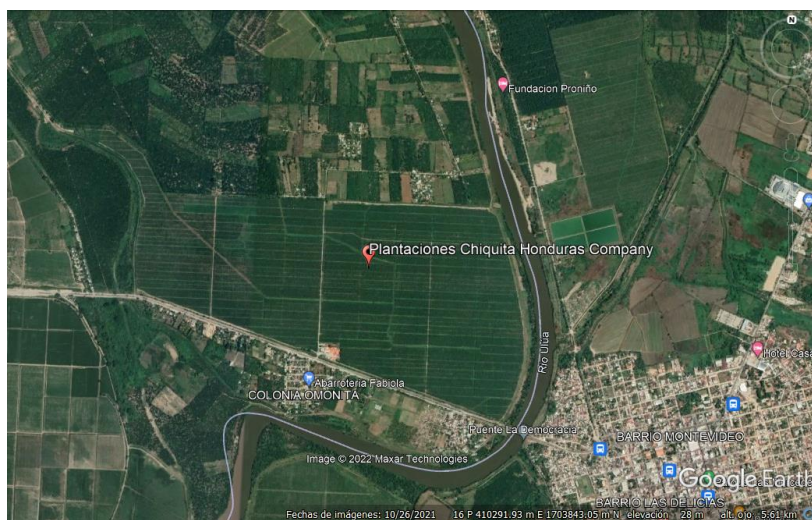


Ilustración 15. Ubicación geográfica de Plantaciones de Chiquita

Fuente: Google Earth Pro

En promedio Chiquita logra procesar 6,000 cajas diarias con máximo 105 bananos por caja, sin embargo, la cantidad rechazada puede ser hasta de un 9% del total de producción, por lo que la cifra total de bananos rechazados puede llegar a ser de hasta 56,700 bananos.

4.6. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

A continuación, se muestra el esquema a seguir para la elaboración de la investigación y construcción del biodigestor.

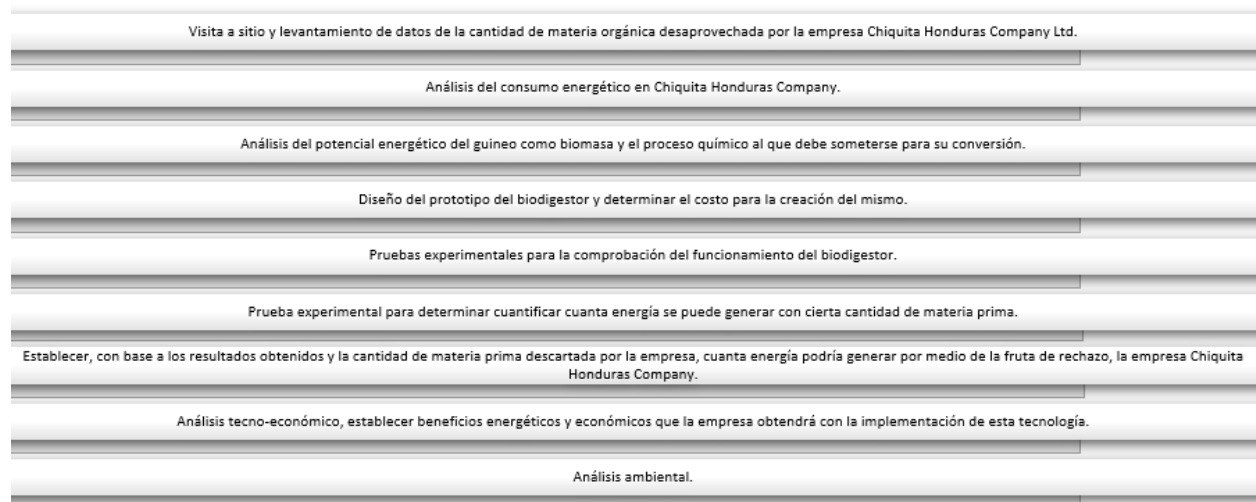


Ilustración 16. Directriz

Fuente: Elaboración propia

4.7. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

En la presente sección se habla con mayor detalle acerca de los procedimientos llevados a cabo a lo largo de la investigación con el objetivo de validar los resultados obtenidos y brindar un mejor panorama de la realización de los cálculos.

4.7.1. VISITA A SITIO Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DESAPROVECHADA POR LA EMPRESA CHIQUITA HONDURAS COMPANY LTD.

Durante las visitas a sitio se realizó la recolección de datos para conocer la cantidad de materia orgánica desperdiciada únicamente en la Finca Santa Rosa mediante una entrevista y un recorrido por las instalaciones y zonas de cosecha. Debido a ciertas medidas de confidencialidad hay datos que se manejan, pero no se expresan en este informe.

A continuación, la ecuación utilizada para conocer la materia prima disponible.

$$\text{Bananos producidos diariamente} \times \text{porcentaje de rechazo} = \text{Bananos de rechazo}$$

Ecuación 1. Bananos de Rechazo

4.7.2. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CHIQUITA HONDURAS COMPANY.

Para el análisis del consumo energético se hizo uso de la información recolectada durante la visita y de Excel como herramienta de cálculos. A continuación, se presentan las ecuaciones utilizadas para condensar la información.

$$\text{Consumo Energético Promedio [Lempiras]} = \frac{\text{Consumo Max.} + \text{Consumo Min.}}{2}$$

Ecuación 2. Consumo Energético Promedio

$$\text{Desembolso por área [Lempiras]} = \% \text{ de consumo por área} \times \text{Consumo energético promedio}$$

Ecuación 3. Desembolso por Área

$$\text{Consumo por área [kWh]} = \frac{\text{Desembolso por área [Lempiras]}}{\text{Tarifa para Servicio General en Baja Tensión [Lempiras/kWh]}}$$

Ecuación 4. Consumo por Área

4.7.3. DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL BIODIGESTOR

En la siguiente sección se detalla el proceso llevado a cabo para la elaboración del prototipo de biodigestor tubular para la generación de biogás. Para el diseño del biodigestor se contempló llevar a cabo un diseño sencillo de construir y operar, esta misma sencillez asegura costos pequeños para la elaboración de cada biodigestor.

La instalación del biodigestor comienza con realizar las mediciones en el lugar donde va a ser instalado con la ayuda de una cinta métrica. Una vez realizadas las mediciones se procede a remover la tierra con la intención de crear un hueco, cuyas paredes cumplen la función de sostener el cuerpo del biodigestor para que este no pierda su uniformidad al momento de ser rellenado con la mezcla y por consecuencia el biogás. Los laterales de la zanja son perfectamente perpendiculares a la superficie interna, mientras que los extremos tienen una inclinación de 45° y 35° para la entrada y salida respectivamente.



Ilustración 17. Excavación de zanja
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la zanja donde irá colocado el biodigestor, se procede a colocar una delgada capa de arena que proteja el cuerpo del biodigestor de cualquier piedra, raíz u objeto extraño que le pueda perforar. Una vez colocada la arena, el siguiente paso es colocar la bolsa negra como recubrimiento en la zanja para mantener fuera la suciedad y añadir una capa más de protección para el biodigestor, a esta bolsa negra se le deberán realizar incisiones a lo largo de su superficie con la intención de proveer una vía de escape para el agua de lluvia.



Ilustración 18. Recubrimiento de Zanja
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se recortan las tuberías de 4" que servirán como entrada y salida del desecho orgánico y se les recubren los extremos que irán dentro del biodigestor con cinta aislante (esto como medida de protección para evitar que las tuberías perforen la bolsa). Después se introducen ambas tuberías en los extremos de la bolsa correspondientes (procurando sellar de manera muy segura las salidas para evitar que el gas se filtre hacia el exterior). Una vez sellados los extremos, es posible colocar el biodigestor en la zanja que acondicionamos anteriormente.



Ilustración 19. Armado e Introducción del Depósito
Fuente: Elaboración propia

Una vez instaladas las bolsas se procede a hacer una perforación en el centro que servirá para la instalación de la tubería por donde será extraído el biogás. Para lo anterior se deben conectar un adaptador macho y un adaptador hembra y entre ellos se deben de colocar dos arandelas metálicas y otras dos arandelas elaboradas con el hule de las cámaras de aire para bicicleta (con el propósito de que sirva como empaque para evitar las filtraciones de biogás a la atmosfera).



Ilustración 20. Salida para Tubería de Biogás
Fuente: Elaboración propia

A esta unión se le debe añadir el reductor de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " para proceder a la conexión de la tubería de $\frac{1}{2}$ " y en el medio de esta tubería se conecta una válvula de pase. Posteriormente se hace la conexión de la "te" donde ira la botella de 2 litros que servirá como seguridad contra sustancias y sobrepresiones. Al final de la conexión se conecta la última válvula para tener una mayor accesibilidad al gas. En la "ilustración 10" Es posible apreciar mejor esta instalación.

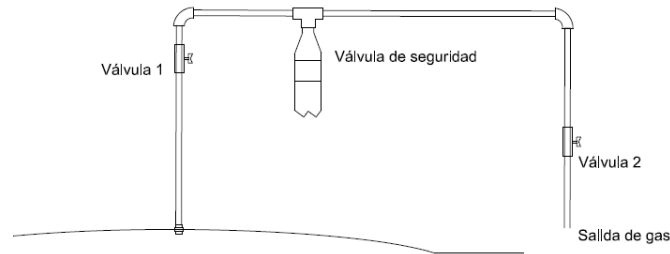


Ilustración 21. Esquema de tubería de PVC
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

Para finalizar se inserta la mezcla en el biodigestor y se sellan las salidas de una manera que sea sencillo destaparle para ingresar una nueva carga o liberar los residuos de adentro del depósito. A continuación, se presenta una vista aérea del biodigestor en AutoCAD e imágenes del mismo ya elaborado.



Ilustración 22. Biodigestor Finalizado
Fuente: Elaboración propia

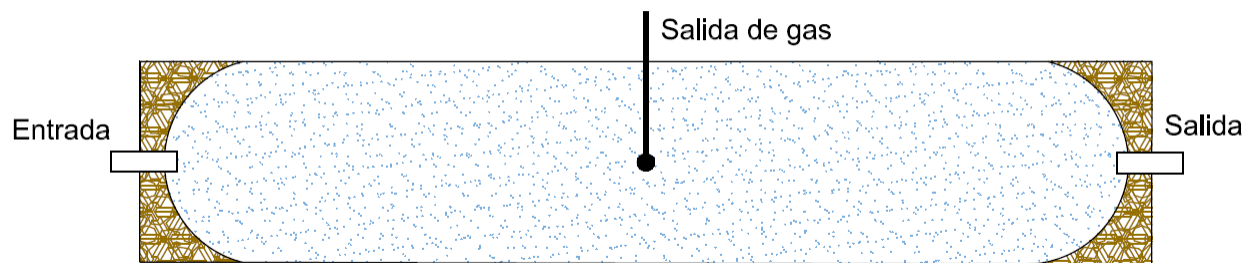


Ilustración 23. Vista aérea AutoCAD

Fuente: Elaboración propia

4.7.4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL GUINEO COMO BIOMASA Y SELECCIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO

La generación de biogás sucede gracias a un fenómeno bioquímico llamado digestión anaerobia en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno, liberando una mezcla de gases constituida por metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varía dependiendo de diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el pH del material biodegradado.

Hay cuatro procesos biológicos y químicos elementales en los procesos de digestión anaeróbica:

1. Hidrólisis
2. Acidogénesis
3. Acetogénesis
4. Metanogénesis

Es importante mencionar que también se puede mezclar agua, banano y otros tipos de residuos como heces de animales, sin embargo, no será tomado en cuenta dado que en las zonas de cosecha de Chiquita Honduras Company solamente hay disponibilidad de banano.

Para el cálculo del potencial del biogás se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Potencial Energético bruto [kWb]} = \frac{\text{Flujo diario de biogás [m}^3\text{]} \times \text{Poder calorífico del biogás [kJ/m}^3\text{]}}{\text{Horas de funcionamiento [h]} \times 3,600 \text{ [s]}}$$

Ecuación 5. Potencial Energético Bruto

Para la selección del grupo electrógeno es necesario conocer la potencia del generador, el cálculo se hace mediante las siguientes ecuaciones:

$$P \text{ generador (kW)} = P. \text{Energético bruto} + (P. \text{Energético bruto} \times \text{margen de operación})$$

Ecuación 6. Potencia del Generador

$$P. \text{generación real} = P. \text{Energético bruto [kW]} \times \text{eficiencia eléctrica [\%]}$$

Ecuación 7. Potencial de Generación Real

4.7.5. PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.

Para comprobar el correcto funcionamiento del biodigestor se pueden y deben realizar un conjunto de pruebas.

Prueba de Filtración

consiste en llenar el biodigestor de agua o aire y comprobar que los niveles del contenido no disminuyen con el paso del tiempo, es importante cerciorarse de que no ingresa ni egresa del sistema ninguna sustancia ajena a la mezcla y al biogás que se genere.

Comprobación de Mezcla

Consiste en asegurarse que la relación agua-banano es la correcta diariamente, para lograrlo basta con registrar y almacenar previamente las cantidades necesarias. También es posible experimentar la generación de biogás a pequeña escala con una botella de refresco y un globo, este último experimento no refleja precisamente los resultados a obtener en gran escala, sin embargo, provee una visión general de los resultados posibles.

Combustión de Biogás

La tercera prueba está relacionada con el biogás generado, consiste en abrir una toma de biogás desde el biodigestor y quemarlo, en caso de que el biogás no arda se puede deber a un mal control del pH. En algunas ocasiones se puede complicar el acceso a un analizador de gases, para esos casos esta prueba es la mejor para tener una idea del contenido de metano en el biogás, pues si este arde su contenido se encuentra por encima de los niveles mínimos que son 50% de CH_4 .

4.7.6. POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN BASE A LA MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE

Para conocer el potencial de generación de energía eléctrica es necesario conocer la potencia de generación real y eso depende de la eficiencia eléctrica del generador seleccionado. A continuación, se muestran las ecuaciones necesarias para conocer estos datos:

Energía gen. mensual = P. generación real x horas de trabajo x días en un mes

Ecuación 8. Energía Generada Mensualmente

Equivalencia en L. = Energía gen. mensual x tarifa servicio general en baja tensión

Ecuación 9. Equivalencia en Lempiras

4.7.7. ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO, ESTABLECER BENEFICIOS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS QUE LA EMPRESA OBTENDRÁ CON LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTA TECNOLOGÍA.

Dentro de los beneficios energéticos del biodigestor para Chiquita Honduras Company se encuentra la posibilidad de producir biogás y utilizarlo como combustible, evitando que se extraigan combustibles no renovables. También existe un mejor manejo de los residuos de la industria agroalimentaria, que en el caso de la empresa terminan siendo desechados sin mayor provecho. Además, se obtiene un fertilizante natural a partir del desecho sólido del banano, el cual puede ser utilizado en las zonas de cosecha, o bien comercializado. Finalmente, el desarrollo de esta tecnología disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y mejora las condiciones sanitarias en las zonas de cosecha al evitar malos olores, insectos y microorganismos capaces de generar enfermedades.

4.7.8. IMPACTOS AMBIENTALES

La producción de biogás en digestores anaeróbicos plantea problemas debido a la contaminación que supone la liberación al ambiente de gases como CO₂ o CH₄, contribuyendo a los problemas medio ambientales que enfrenta el planeta. Sin embargo, es gracias a este tipo de tecnología de biodigestión que algunas empresas dedicadas a la agroindustria pueden sacar un mayor provecho de sus recursos y residuos.

Impactos en suelo

Durante la construcción de los biodigestores es necesaria la elaboración de una zanja, removiendo grandes cantidades del medio edáfico. También se debe hacer uso de maquinaria pesada, lo que implica la apertura de caminos en los campos bananeros dañando la flora y fauna del lugar. Finalmente es importante tomar en consideración el riesgo de filtraciones del sustrato en el medio edáfico causando cambios en el pH del suelo.

Impactos en agua

Para la elaboración del sustrato se deben usar cantidades considerables de agua. Además, es importante considerar el riesgo de contaminar los canales cercanos que sirven para bombear el agua necesaria para las plantaciones.

Impactos en aire

Aumento de los niveles de emisión de olores, debido a que en el proyecto se maneja o tratan residuos orgánicos y como consecuencia del tratamiento anaerobio se generan olores al igual que en todo el proceso de uso del biodigestor, afectando a la población circundante. También es importante considerar que en caso de una fuga el metano es más dañino para la atmósfera que el dióxido de carbono.

Impactos sobre la población

Una manipulación incorrecta de los residuos orgánicos, sustrato o biogás representa un peligro muy grande para la salud de los seres vivos, sin embargo, el remplazo al uso de carbón o leña compensa este riesgo.

Impactos visuales

La construcción del proyecto implica un contraste con el entorno paisajístico, especialmente por el uso de plásticos.

A continuación, se muestran las emisiones GEI para el proyecto propuesto en la presente investigación:

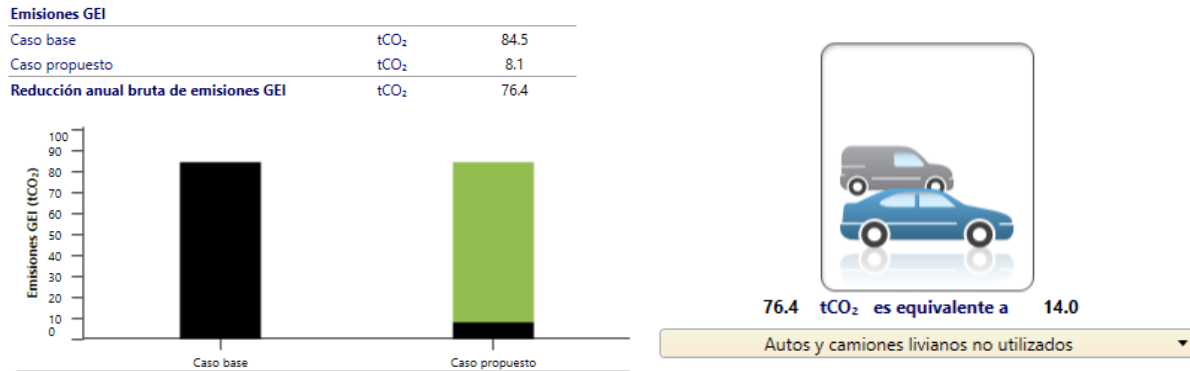


Ilustración 24. Emisiones GEI y Equivalencia en Autos No Utilizados
Fuente: Retscreen

4.8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Semanas												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Introducción													
Planteamiento del problema													
Marco Teórico													
Metodología													
Desarrollo de Análisis Financiero y Teórico													
Análisis de Resultados													
Conclusiones													

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el siguiente apartado se desglosará los resultados obtenidos una vez culminados todos los pasos necesarios para el proceso de su instalación y funcionamiento, para medir los resultados primero se necesitó realizar algunas ecuaciones de cálculos previo a la instalación como lo son las siguientes:

5.1. VISITA A SITIO Y LEVANTAMIENTO DE DATOS DE LA CANTIDAD DE MATERIA ORGÁNICA DESAPROVECHADA POR LA EMPRESA CHIQUITA HONDURAS COMPANY LTD.

Durante la visita a la finca Santa Rosa de Chiquita Honduras Company Ltd. en el municipio de la lima se obtuvo que durante los picos bajos se producen 4,000 cajas con 105 bananos diariamente, durante los picos altos se producen 8,000 cajas con 105 bananos diariamente, por lo que en promedio se producen 6,000 cajas diarias con 105 bananos, brindando a la empresa un aproximado de 630,000 bananos en un solo día.

El límite de banano rechazado impuesto por los altos directivos de la empresa es de un 9% de banano que no cumple con los estándares de calidad, por lo que:

$$\textit{bananos producidos diariamente} \times \textit{porcentaje de rechazo} = \textit{Bananos de rechazo}$$

$$630,000 * 9\% = 56,700 \textit{ bananos de rechazo}$$

Este banano de rechazo es molido y desechado en fosas para evitar la atracción de moscas e insectos que deterioran el banano y que personas ajenas a la empresa quieran entrar a recolectar el desperdicio.

5.2. ANÁLISIS DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CHIQUITA HONDURAS COMPANYY.

En el presente segmento se muestra el consumo energético por área para la empresa en su totalidad. Según fuentes pertenecientes a la empresa la factura mensual (tomando en consideración todas las fincas bananeras) varía entre L. 4,500,000 y L. 6,000,000. Hasta la fecha la tarifa a la cual se les factura el consumo es de aproximadamente 5.70 L/kWh, por lo que se llega a la conjetura de que Chiquita Honduras Company Ltd. pertenece al sector de Servicio General en Baja Tensión.

Tabla 7. Consumo Energético Total

CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL	
Min	L 4,500,000.00
Max	L 6,000,000.00
Promedio	L 5,250,000.00
Tarifa [L/kWh]	5.7

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Chiquita Honduras Company

Con los datos que puso a disposición la empresa es posible calcular el consumo de energía eléctrica por área.

Tabla 8. Consumo Energético por Área

CONSUMO POR ÁREA			
Área	% de consumo	Pago por área	Consumo por área [kWh]
Empaque	20%	L 1,050,000.00	184,210.53
Riego	50%	L 2,625,000.00	460,526.32
Drenaje	20%	L 1,050,000.00	184,210.53
Oficinas y otros	10%	L 525,000.00	92,105.26
Total		L 5,250,000.00	921,052.63

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Chiquita Honduras Company

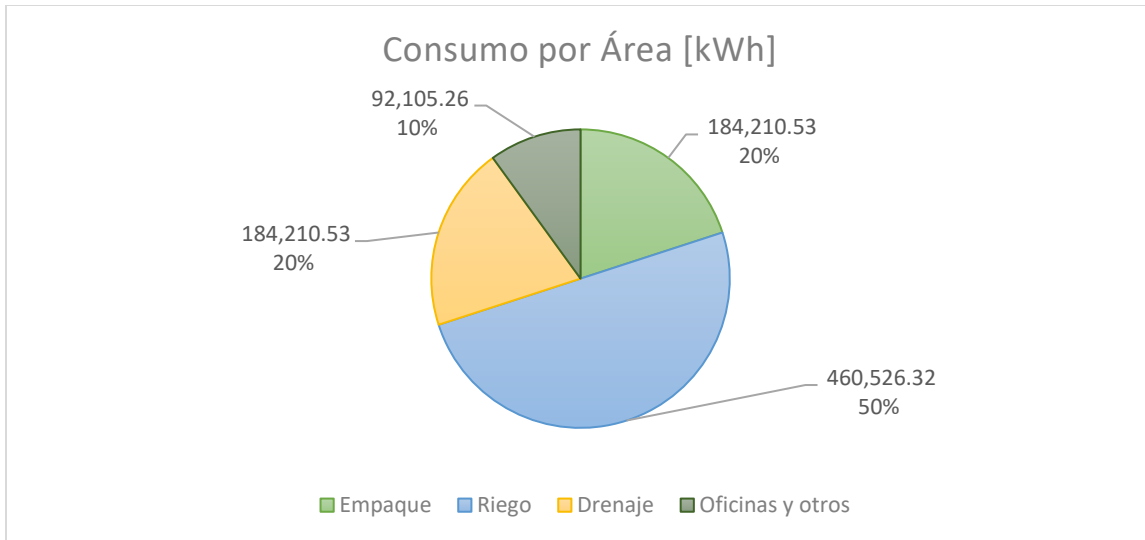


Ilustración 25. Gráfico Resumen de Consumo Energético

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Chiquita Honduras Company

Haciendo hincapié en la tabla 8 es posible observar el consumo energético por área en kWh, es importante mencionar que la información expuesta no solo hace referencia a la finca Santa Rosa, sino a la empresa en conjunto, todas sus demás fincas e instalaciones.

5.3. DISEÑO DEL PROTOTIPO DE BIODIGESTOR Y BIODIGESTOR REAL

Esta sección se divide en 2 subsecciones que son el diseño de un prototipo de biodigestor para una cantidad pequeña de material orgánico y el dimensionamiento de un biodigestor para el total de materia orgánica disponible en la finca Santa Rosa de Chiquita Honduras Company.

5.3.1. GENERACIÓN DE BIOGÁS PARA PROTOTIPO DE BIODIGESTOR

Tiempo de Retención

Para determinar el tiempo de retención necesario es indispensable tomar en cuenta la temperatura ya que es necesario que la descomposición anaeróbica realice su trabajo de manera correcta por lo que para eso utilizamos la siguiente tabla como referencia:

Tabla 9. Temperatura por Regiones

Región	Temperatura ambiente	Temperatura de trabajo	Altura sobre el nivel del mar [msnm]	Tiempo de retención [días]
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: Datos Obtenidos en (Herrero, 2008)

Utilizando los datos para la región del trópico y tomando en cuenta que la temperatura en el municipio de La Lima varía entre los 21°C y los 34°C se estipulo que el tiempo de retención total sería de 20 días, sin embargo, nos encontramos con días de lluvia durante el tiempo de retención, lo que hizo que la temperatura en esos días bajara entre 7°C y 10°C por lo que finalmente este tiempo se extendió 10 días más dándonos un total de 30 días de retención.

Carga de Mezcla Diaria

Para establecer cuál será la carga diaria que se debe ingresar dentro del biodigestor, se toma en consideración la cantidad de materia prima disponible, en el caso específico de este proyecto la cantidad de materia prima disponible para su aplicación y recolecta es bastante amplia por lo que se decidió realizar una mezcla de 1:4, es decir, una parte de agua y cuatro de banano (11.5 litros de agua y 100 libras de fruta de rechazo) que una vez mezclado nos da un total de 125 litros de mezcla cuyo principal objetivo es pues que al pasar los días de retención y la descomposición de la fruta adquiere un nivel de liquidez que la hace fácil de extraer luego de su tiempo de retención.

Volumen del Biodigestor

Para este tipo de biodigestor el volumen se divide en un 75% del espacio destinado a la carga diaria y el 25% restante está destinado a donde reposara el biogás obtenido. Con esta distribución se puede obtener los datos sobre el volumen liquido por medio de la siguiente ecuación:

$$Vl = TR \times CD$$

Ecuación 10. Volúmen Líquido

$$Vl = 30 \times 125 L$$

$$Vl = 3,750 L \text{ o } 3.75 m^3$$

Donde:

$$TR = \text{Tiempo de Retención} = 30 \text{ [días]}$$

$$CD = \text{Carga Diaria} = 125 \text{ [L]}$$

Teniendo los valores del tiempo de retención (30 días) y la carga diaria (125 litros) sustituimos estos valores en la ecuación de volumen liquido lo que nos da un total de 3,750 litros de volumen liquido o 3.75 metros cúbicos. Una vez obtenidos estos resultados se procede a calcular el volumen gaseoso que como se mencionó anteriormente equivale a una tercera parte del volumen liquido por lo que lo determinaremos con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 11. Volumen Gaseoso

$$Vg = \frac{3.75 m^3}{3}$$

$$Vg = 1,25 m^3$$

Donde:

$$Vl = \text{Volumen Líquido} = 3.75 [m^3]$$

Con los resultados del volumen líquido y el volumen gaseoso se procede a realizar una sumatoria entre ambas para obtener el volumen total por medio de la siguiente ecuación:

$$V_T = V_L + V_G$$

Ecuación 12. Volumen Total

$$Vt = 3.75 m^3 + 1.25 m^3$$

$$Vt = 5 m^3$$

Donde:

$$Vg = \text{Volumen Gaseoso} 1.25 [m^3]$$

$$Vl = \text{Volumen Líquido} = 3.75 [m^3]$$

Esto deja un volumen total de 5,000 litros o 5 metros cúbicos.

Producción de Biogás

Para determinar cuál es la producción de biogás se utilizarán los conceptos de sólidos totales y sólidos totales.

a) Sólidos Totales

Según estudios el banano tiene un rango de sólidos totales de entre 60% y 70% este rango se debe más que todo por lo que sería las cascara de guineo ya que los sólidos totales representan el peso en seco de la fruta cuando se va a introducir al biodigestor, de ser removida la cascara este rango baja a un 25%. Para calcular los sólidos totales tomaremos como referencia la siguiente tabla:

Tabla 10. Sólidos Totales

Materia	Sólidos Totales (%)
Banano con Cascara	65
Banano sin Cascara	25
Mezcla 1:4	3.5

Fuente: Elaboración Propia según datos de (Dialnet, 2020)

El porcentaje de una mezcla de 1:4 de Banano es de %ST=3.5 por lo que para calcular el total de la cantidad de sólidos totales dentro del biodigestor se implementará la siguiente ecuación:

$$\text{Sólidos Totales} = \text{Carga diaria} \times \frac{\text{Porcentaje de sólidos mezcla 1:2}}{V_L}$$

Ecuación 13. Sólidos Totales

$$ST = 125 \text{ kg} \times \frac{3.5\%}{3.75 \text{ m}^3}$$
$$ST = 1.16 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

$$CD = \text{Carga diaria} = 125 \text{ [kg]}$$

$$\%ST = \text{Porcentaje de sólidos totales} = 3.5 \text{ [%]}$$

$$V_L = \text{Volumen Líquido} = 3.75 \text{ [m}^3\text{]}$$

b) Sólidos Volátiles

De manera general se calcula que el porcentaje de sólidos volátiles con respecto al banano es del 26% (%SV=26) que es el porcentaje destinado a pasar a la fase gaseosa, para calcular el total se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos Volátiles} = \text{Sólidos Totales} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times \text{Porcentaje de Sólidos Volátiles} [\%]$$

Ecuación 14. Sólidos Volátiles

$$SV = 1.16 \text{ kg/m}^3 \times 26\%$$

$$SV = 0.3 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

$$ST = \text{Sólidos Totales} = 1.16 \text{ kg/m}^3$$

$$\%ST = \text{Porcentaje de sólidos volátiles} = 26\%$$

c) PRODUCCION DE BIOGAS

Al obtener los datos o resultados de los sólidos totales y los sólidos volátiles se puede proceder a calcular la producción de biogás tomando en consideración que el factor de producción para esta fruta varía entre el 0.25 y el 0.30 dándonos un factor promedio de 0.275 el cual se implementara en la siguiente formula:

$$PB = \text{Factor de producción} \times \text{Sólidos Volátiles} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times V_L$$

Ecuación 15. Producción de Biogás

$$PB = 0.275 \times 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$PB = 0.0825 \text{ m}^3_{\text{biogás}} / \text{m}^3_{V_L} / \text{dia}$$

$$PB \times V_L = ? \text{ m}^3$$

$$0.0825 \times 3.75 = 0.309 \text{ m}^3$$

Donde:

$$SV = \text{Sólidos Volátiles} = 0.3 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

El biodigestor genera 0.309 m³ de biogás diariamente.

5.3.2. GENERACIÓN DE BIOGÁS PARA BIODIGESTOR REAL

Tiempo de Retención

Tabla 11. Temperatura por Regiones

Región	Temperatura ambiente	Temperatura de trabajo	Altura sobre el nivel del mar [msnm]	Tiempo de retención [días]
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: Datos Obtenidos en (Herrero, 2008)

Dadas las características geográficas de La Lima, se seleccionó la categoría de trópico para un tiempo de retención de 20 días.

Mezcla Diaria

Para el diseño del prototipo se decidió utilizar una mezcla 1:4, la cual funcionó considerablemente bien, sin embargo, para su dimensionamiento solamente se tomó en consideración un 0.54% de la materia orgánica disponible. Tomando en cuenta lo antes mencionado, se decidió sustituir la mezcla 1:4 con mezcla 1:2, con dos propósitos que son añadir espesor a la mezcla y disminuir el volumen de los biodigestores a construir para disminuir sus costos asociados (la producción de biogás no se ve afectada).

Materia orgánica disponible: 8,505 kg de banano

Carga diaria (mezcla 1: 2) = 8,505 [kg de banano] + 17,010 [L de agua]

Carga diaria (mezcla 1: 2) = 25,515 [L diarios]

Volumen Líquido

El volumen líquido representa un 75% del volumen total del biodigestor.

$$\begin{aligned}V_L &= TR \times CD \\ &= 20 \times 25,515 \\ &= 510,300 [L] \approx 510.3 [m^3]\end{aligned}$$

Volumen Gaseoso

El volumen gaseoso representa un 25% del volumen total del biodigestor.

$$\begin{aligned}V_g &= \frac{V_L}{3} \\ V_g &= \frac{510.3 [m^3]}{3} \\ V_g &= 170.1 [m^3]\end{aligned}$$

Volumen Total

El volumen total es la suma del volumen líquido y gaseoso.

$$\begin{aligned}V_T &= V_L + V_g \\ V_T &= 510.3 [m^3] + 170.1 [m^3] \\ V_T &= 680.4 [m^3]\end{aligned}$$

Cálculo de Sólidos Totales (1:2)

Porcentaje de Sólidos Totales [%]

El banano en conjunto con su pulpa y cáscara posee un 21.8 % de sólidos totales. Para conocer el porcentaje de la mezcla 1:2, basta con llevar a cabo el siguiente procedimiento:

$$\text{Porcentaje de sólidos mezcla 1:2} = \frac{\text{Flujo diario [kg]} \times \text{Porcentaje de sólidos totales [\%]}}{\text{Cantidad total de mezcla 1:2 [L]}}$$

$$\text{Porcentaje de sólidos mezcla 1:2} = \frac{8,505 \text{ [kg]} \times 21.8 \text{ [\%]}}{25,515 \text{ [L]}}$$

$$\text{Porcentaje de sólidos mezcla 1:2} = 7.26 \text{ [\%]}$$

Sólidos Totales [kg/m³]

Es la cantidad de materia seca contenida en el conjunto de la mezcla.

$$\text{Sólidos Totales} = \text{Carga diaria} \times \frac{\text{Porcentaje de sólidos mezcla 1:2}}{V_L}$$

$$\text{Sólidos totales} = 25,515 \text{ [L]} \times \frac{7.26 \text{ [\%]}}{510.3 \text{ m}^3}$$

$$\text{Sólidos totales} = 3.63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Cálculo de Sólidos Volátiles (1:2)

$$\text{Sólidos Volátiles} = \text{Sólidos Totales} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times \text{Porcentaje de Sólidos Volátiles [\%]}$$

$$\text{Sólidos Volátiles} = 3.63 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times 26 \text{ [\%]}$$

$$\text{Sólidos Volátiles} = 0.944 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Producción de Biogás

$$PB = \text{Factor de producción} \times \text{Sólidos Volátiles} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times V_L$$

$$PB = 0.275 \times 0.944 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times V_L$$

$$PB = 0.2596 \text{ [m}^3/\text{m}^3 V_L/\text{día]} \times 510.3 \text{ m}^3 = 132.47 \text{ m}^3 \text{ de biogás}$$

Se generan 132.47 m³ de biogás diariamente.

5.3.3. DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTOR REAL

Dado que debe de existir una relación L/d cercana a 7 para biodigestores tubulares es necesario realizar un análisis de sus dimensiones, en este caso se analiza para 6 distintos casos que son:

Tabla 12. Dimensionamiento de 1 Biodigestor Real

1 BIODIGESTOR				
Volumen total del biodigestor (m ³)	680.4	NOTA: Dentro del rango aceptado, pero lejano de siete.		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	2,115.02	3,304.71
1.50	0.48	0.96	940.01	979.17
2.00	0.64	1.28	528.75	413.09
2.50	0.80	1.60	338.40	211.50
3.00	0.95	1.90	239.98	126.30
3.50	1.11	2.22	175.78	79.18
4.00	1.27	2.54	134.28	52.87
4.50	1.43	2.86	105.91	37.03
5.00	1.59	3.18	85.67	26.94
7.00	2.23	4.46	43.55	9.76

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Dimensionamiento de 2 Biodigestores Reales

2 BIODIGESTORES				
Volumen total del biodigestor (m³)	340.2	NOTA: Fuera del rango		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	1,057.51	1,652.36
1.50	0.48	0.96	470.00	489.59
2.00	0.64	1.28	264.38	206.54
2.50	0.80	1.60	169.20	105.75
3.00	0.95	1.90	119.99	63.15
3.50	1.11	2.22	87.89	39.59
4.00	1.27	2.54	67.14	26.43
4.50	1.43	2.86	52.96	18.52
5.00	1.59	3.18	42.83	13.47
7.00	2.23	4.46	21.78	4.88

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Dimensionamiento de 3 Biodigestores Reales

3 BIODIGESTORES				
Volumen total del biodigestor (m³)	226.8	NOTA: Valor muy lejano de 9, biodigestor muy largo		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	705.01	1,101.57
1.50	0.48	0.96	313.34	326.39
2.00	0.64	1.28	176.25	137.70
2.50	0.80	1.60	112.80	70.50
3.00	0.95	1.90	79.99	42.10
3.50	1.11	2.22	58.59	26.39
4.00	1.27	2.54	44.76	17.62
4.50	1.43	2.86	35.30	12.34
5.00	1.59	3.18	28.56	8.98
7.00	2.23	4.46	14.52	3.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Dimensionamiento de 4 Biodigestores Reales

4 BIODIGESTORES				
Volumen total del biodigestor (m³)	170.1	NOTA: Factible y a evaluar costos.		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	528.75	826.18
1.50	0.48	0.96	235.00	244.79
2.00	0.64	1.28	132.19	103.27
2.50	0.80	1.60	84.60	52.88
3.00	0.95	1.90	59.99	31.58
3.50	1.11	2.22	43.94	19.79
4.00	1.27	2.54	33.57	13.22
4.50	1.43	2.86	26.48	9.26
5.00	1.59	3.18	21.42	6.73
7.00	2.23	4.46	10.89	2.44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Dimensionamiento de 5 Biodigestores Reales

5 BIODIGESTORES				
Volumen total del biodigestor (m³)	136.08	NOTA: Factible, pero consiste en 5 biodigestores.		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	423.00	660.94
1.50	0.48	0.96	188.00	195.83
2.00	0.64	1.28	105.75	82.62
2.50	0.80	1.60	67.68	42.30
3.00	0.95	1.90	48.00	25.26
3.50	1.11	2.22	35.16	15.84
4.00	1.27	2.54	26.86	10.57
4.50	1.43	2.86	21.18	7.41
5.00	1.59	3.18	17.13	5.39
7.00	2.23	4.46	8.71	1.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Dimensionamiento de 6 Biodigestores Reales

6 BIODIGESTORES				
Volumen total del biodigestor (m ³)	113.4	Nota: Factible, pero consiste en 6 biodigestores.		
Ancho de rollo	Radio	Diámetro	Longitud calculada (m)	Relación L/d (5-10)
1.00	0.32	0.64	352.50	550.79
1.50	0.48	0.96	156.67	163.20
2.00	0.64	1.28	88.13	68.85
2.50	0.80	1.60	56.40	35.25
3.00	0.95	1.90	40.00	21.05
3.50	1.11	2.22	29.30	13.20
4.00	1.27	2.54	22.38	8.81
4.50	1.43	2.86	17.65	6.17
5.00	1.59	3.18	14.28	4.49
7.00	2.23	4.46	7.26	1.63

Fuente: Elaboración propia

El rango permitido para la relación L/d esta entre 5 y 10, sin embargo, el valor optimo es 7. Dadas las características para cada uno de los casos se decidió que la opción más viable es la de construir 4 biodigestores de 170.1 m³, con rollos de 5 m de ancho y una longitud de 21.42 m. También se tomó en consideración la disponibilidad de los materiales, espacio disponible en la zona y la viabilidad de construir 4 biodigestores.

5.3.4. ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL GUINEO COMO BIOMASA Y SELECCIÓN DE GRUPO ELECTRÓGENO

Para el análisis del potencial energético del guineo y del biogás se hace uso únicamente de los datos recolectados del diseño del biodigestor real (no se considera el prototipo).

Potencial Energético Bruto

Para el cálculo del potencial energético se consideran 16 horas continuas de funcionamiento:

Se esperan 132.47 m^3 de biogás diariamente.

$$\text{Potencial Energético bruto [kWb]} = \frac{\text{Flujo diario de biogás [m}^3\text{]} \times \text{Poder calorífico del biogás [kJ/m}^3\text{]}}{\text{Horas de funcionamiento [h]} \times 3,600 \text{ [s]}}$$

$$\text{Potencial Energético bruto del biogás [kWb]} = \frac{132.47 \text{ [m}^3\text{]} \times 22,927 \text{ [kJ/m}^3\text{]}}{16 \text{ [h]} \times 3,600 \text{ [s]}}$$

$$\text{Potencial Energético bruto del biogás [kWb]} = 52.7281 \text{ kWb} \approx 53 \text{ kWb}$$

Selección de Grupo Electrónico

Se considera un margen del 20% para impedir que el generador de biogás funcione a su máxima capacidad durante todo el tiempo. Por lo que la capacidad instalada para el grupo electrónico se determinó de la siguiente manera:

$$P_{\text{generador (kW)}} = P_{\text{Energético bruto}} + (P_{\text{Energético bruto}} \times \text{margen de operación})$$

$$P_{\text{generador (kW)}} = 53 \text{ [kW]} + (53 \text{ [kW]} \times 0.20 \text{ [%]})$$

$$P_{\text{generador (kW)}} = 63.6 \text{ [kW]} \approx 64 \text{ [kW]}$$

Se ha seleccionado un generador de biogás Man 64 kW de la marca Zorg Biogás en contenedor pues este estará semi expuesto a la intemperie. El biogás consumido es de $32.6 \text{ m}^3/\text{h}$ y posee una eficiencia de conversión eléctrica de 35.9% por lo que la potencia de generación real se determina con la siguiente formula:

$$P. \text{ generación real} = P. \text{ Energético bruto [kW]} \times \text{eficiencia eléctrica [\%]}$$

$$P. \text{ generación real} = 53 \text{ [kW]} \times 35.9 \text{ [\%]}$$

$$P. \text{ generación real} = 19.027 \text{ [kW]} \approx 19 \text{ [kW]}$$

5.3.5. POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EN BASE A LA MATERIA ORGÁNICA DISPONIBLE

En la presente sección se realizan los cálculos para determinar de manera general la energía que se puede generar a lo largo de un mes de 31 días y su equivalencia en lempiras.

Energía generada mensualmente [kWh]

$$\text{Energía gen. mensual} = P. \text{ generación real} \times \text{horas de trabajo} \times \text{días en un mes}$$

$$\text{Energía gen. mensual} = 19 \text{ [kW]} \times 16 \text{ [h]} \times 31 \text{ [días]}$$

$$\text{Energía gen. mensual} = 9,424 \text{ [kWh - mes]}$$

La energía generada mensualmente es 9,424 kWh.

Equivalencia de generación en Lempiras

$$\text{Equivalencia en L.} = \text{Energía gen. mensual} \times \text{tarifa servicio general en baja tensión}$$

$$\text{Equivalencia en L.} = 9,424 \text{ [kWh]} \times 6.5495 \text{ [Lempiras]}$$

$$\text{Equivalencia en L.} = 61,722.488 \text{ [Lempiras mensuales]}$$

Los 9,424 kWh mensuales equivalen a aproximadamente a L. 61,722.488.

5.3.6. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para poder realizar el análisis de factibilidad económica es necesario realizar una estimación de los costos asociados al proyecto durante toda su vida útil, a continuación, se muestra en forma de tablas los costos asociados a la construcción del proyecto.

Tabla 18. Construcción de Biodigestor

BIODIGESTOR (CADA 5 AÑOS)				
MATERIALES	CANTIDAD		PRECIO UNITARIO	TOTAL
1. Polietileno transparente (5 m x 50 m)	4	L	6,184.00	L 24,736.00
2. Polietileno negro (2.5 m x 200 m)	1	L	3,675.00	L 3,675.00
3. Tubo de PVC 4" 20 pies	1	L	490.00	L 490.00
4. Tubo de PVC ½" 20 pies	10	L	82.00	L 820.00
5. Reductor de PVC (¾" - ½")	4	L	3.00	L 12.00
6. Adaptador Macho ¾"	4	L	4.00	L 16.00
7. Adaptador Hembra ¾"	4	L	7.00	L 28.00
8. Te de PVC ½"	8	L	6.00	L 48.00
9. Llaves de pase ½"	8	L	33.00	L 264.00
10. Codos de PVC ½"	12	L	6.00	L 72.00
11. Pegamento para PVC	2	L	68.00	L 136.00
12. Alambre Galvanizado (pie)	28	L	4.00	L 112.00
13. Arandelas metálicas ½"	8	L	2.00	L 16.00
14. Cámaras de aire para bicicleta	3	L	6.00	L 18.00
15. Cinta aislante 3M (Rollo)	4	L	20.00	L 80.00
16. Cinta de teflón	2	L	13.00	L 26.00
17. Cinta adhesiva gruesa 3M	2	L	50.00	L 100.00
18. Botella plástica 2 L	4	L	20.00	L 80.00
19. Arena	1	L	2,000.00	L 2,000.00
20. Lija P280 (hoja)	5	L	25.00	L 125.00
			SUBTOTAL	L 32,854.00
			IMPUESTO (15%)	L 4,928.10
			GRAN TOTAL	L 37,782.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Compra de Grupo Electrónico

GRUPO ELECTRÓNICO			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1. Generador de Biogás Man de 64 kW	Vendido en conjunto		
2. Contenedor para protección			
3. Base con estructura de acero			
4. Sistema de control (armario de distribución con pantalla LCD, interruptores, relés).			
5. Armario de control con contactor generador, transformadores de medida, bloque de terminales para conexión a la red.			
6. Intercambiadores de calor de escape y placas, válvula de 3 vías con servoaccionamientos, bombas, tubería, compensador, tanque de expansión, válvula de compensación, sensores de temperatura y presión, medición y regulación, aislamiento térmico.			
7. Sistema de baja temperatura (LT) (válvula solenoide doble, enfriador seco, bomba, válvula motorizada de tres vías, compensadores, tanque de expansión, tubería, válvula de seguridad, medición y regulación).			
8. Línea de gas (filtro de gas, electroválvula biestable, regulador de presión cero, medición y regulación, conexión de la línea de gas con compensador al mezclador, aislamiento)			
9. Línea de gases de escape (tubos de escape, intercambiador de calor de gases de escape, silenciador de escape, desagüe de condensados, medición y regulación, aislamiento térmico).			
10. Sistema de aceite (tanque de aceite, mirilla de aceite, válvulas solenoides, supresores de sobretensión, interruptor de nivel de aceite, bomba de aceite).			
		GRAN TOTAL	L 2,951,468.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Costos por Servicios de Construcción e Instalación

SERVICIOS DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN (CADA 5 AÑOS)			
MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1. Retroexcavadora	1	L 5,000.00	L 5,000.00
2. Operarios	15	L 500.00	L 7,500.00
3. Montacargas	1	L 2,000.00	L 2,000.00
4. Palas	8	L 260.00	L 2,080.00
GRAN TOTAL			L 16,580.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Resumen de Costos Iniciales del Proyecto

CONDENSACIÓN DE GASTOS INICIALES	
Biodigestor	L 37,782.10
Grupo Electrónico	L 2,951,468.40
Servicios de Construcción	L 16,580.00
TOTAL	L 3,005,830.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidos los costos iniciales del proyecto y habiendo hecho una estimación de la energía generada por el proyecto cada mes, es posible realizar el análisis de factibilidad correspondiente. En la tabla 22 se muestran los parámetros bajo los cuales se realizaron los cálculos para el análisis económico.

Tabla 22. Parámetros de Entrada para Análisis Económico

Parámetros de Entrada	
Capacidad Instalada [kW]	64
Costo de Capital Especifico [\$/kW]	1265.8
Tasa de Inflación [%]	5.00%
Tarifa de energía eléctrica [\$/kWh]	0.26
Incremento Anual en la tarifa [%]	1.00%
Costo por O&M específico [\$/kW-año]	20
Costo por O&M [\$]	640
Costo Capital Total [\$]	121,374
Inversión de Fondos Propios [%]	100%
Inversión de Fondos Propios [\$]	121374.12
Tasa de Interés fondos Propios [%]	10%
Deuda [%]	0%
Deuda [\$]	0
Tasa de Interés Préstamo [%]	0.00%
Plazo de préstamo [años]	0
Tasa impositiva ISR [%]	25%
Seguros [\$]	1000.00
Inversión Social y ambiental [\$]	500
Vida útil del proyecto [años]	15
Tasa de descuento [%]	10%
Costo Capital Promedio Ponderado [%]	10.00%

Fuente: Elaboración propia

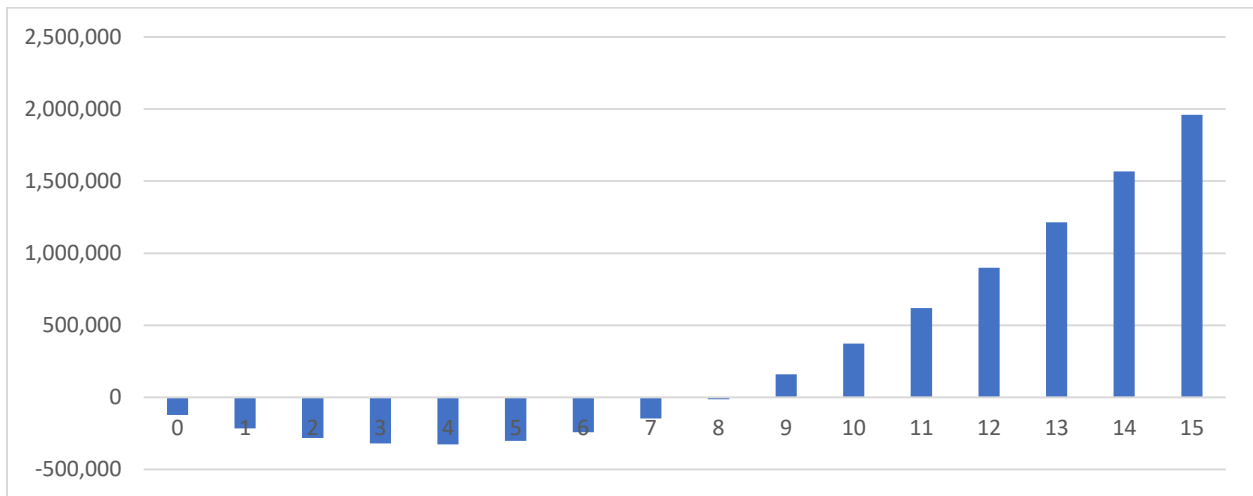
Una vez habiendo establecido los parámetros iniciales es posible presentar los resultados obtenidos en el análisis económico.

Tabla 23. Parámetros de Salida de Análisis Económico

Parámetros de Salida: Sin Financiamiento	
Valor Presente Neto [\$]	380,731
TIR [%]	20.28%
Periodo de recuperación [años]	8.1537918
ROI [%]	313.68%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 26. Flujo de Efectivo Acumulado



Fuente: Elaboración propia

La inversión se recupera en aproximadamente 8 años y demuestra ser factible técnica y económicamente en cada uno de sus componentes. En anexos se añade en mejor detalle la hoja de cálculos utilizada en Excel. Es indispensable mencionar que el análisis se realiza considerando que Chiquita Honduras Company desembolsaría en su totalidad el costo del proyecto, es decir sin ayuda de un ente externo para financiar la inversión.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó la instalación de un prototipo de biodigestor cuyo objetivo era experimentar el proceso de generación de biogás con banano como materia prima y a su vez se dimensionó un proyecto capaz de procesar toda la materia orgánica disponible en la finca Santa Rosa, se determinó su factibilidad económica y técnica para la creación de biogás y los potenciales ahorros económicos para la empresa Chiquita Honduras Company Ltd.

1. El prototipo de biodigestor demostró ser viable para la generación de biogás, sin embargo, también mostró oportunidades de mejora, por ejemplo, la mezcla de 1:4 aumenta demasiado el volumen del biodigestor, implicando aumentos en los costos, además de añadir dificultad al proceso y la operación del sistema; por lo antes mencionado la mejor opción es utilizar una relación de 1:2.
2. La cantidad de fruta de rechazo disponible en la finca Santa Rosa para uso del biodigestor es de 56,700 bananos (aproximadamente 8,505 kg diarios) siendo esta sólo una de las 8 fincas en el municipio de La Lima pertenecientes a Chiquita Honduras Company.
3. Los costos asociados al diseño del prototipo fueron de L. 1,449.00, mientras que en la versión redimensionada (aplicable a procesar toda la materia orgánica) los costos aumentaron a L. 3,005,830.5.
4. Procesando en su totalidad la materia prima rechazada por la empresa mediante digestión anaeróbica, la capacidad de generación de energía es 9,424 kWh mensuales, equivalente a L. 61,722.488.
5. El análisis técnico llevado a cabo durante el dimensionamiento del biodigestor real sugirió la elaboración de 4 biodigestores de $170.1 m^3$ en sustitución de un solo biodigestor de $680.4 m^3$.
6. Se obtuvo como resultados finales un valor actual neto (VAN) de \$380,731, una tasa interna de retorno (TIR) del 20.28%, un período de recuperación de 8.15 años y un retorno sobre la inversión (ROI) de 313.68% debido a estos resultados se determinó que el proyecto es factible.

Algunas de las limitaciones que se presentaron para la realización de este proyecto fue la condición climatológica pues se realizó en un periodo de constantes lluvias, generando así un atraso en lo que sería un atraso en el periodo de retención de 10 días, así como la dificultad al momento de instalación del mismo, otra limitante fue la disponibilidad de información acerca de la gravimetría del banano, se requirió de una exhausta investigación para poder determinar los valores de estos. Una limitante más fue el lugar de instalación del proyecto ya que la empresa Chiquita Honduras Company Ltd. No permitió la instalación de este dentro de las instalaciones, por lo que se instaló dentro del patio de una casa con un espacio reducido.

Se espera que los datos e información obtenida en este proyecto se utilice como estrategia para aumentar la rentabilidad de la industria del banano o para futuras investigaciones acerca de la industria de generación de biogás en base al banano como materia prima.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de un biodigestor de flujo continuo ya que este facilita los procesos de introducción y extracción de la mezcla diaria sin afectar la producción de biogás en el mismo.
- Se recomienda utilizar una mezcla con dos partes de agua por cada parte de banano, con el objetivo de aumentar el espesor del fluido y disminuir el volumen de los biodigestores.
- Se recomienda la instalación del biodigestor cerca de la zona donde es colocada la fruta de rechazo para facilitar el traslado e introducción hacia el biodigestor de esta.
- Se recomienda la adquisición de un analizador de gases con el objetivo de conocer la composición química de los elementos contenidos en el biogás y lograr hacer las mediciones de manera más precisa.
- Se recomienda hacer una bitácora de los análisis realizados al biodigestor con el objeto de prevenir inconsistencias en las mediciones.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ampudia, A. E. (2017). *Optimización del proceso de escaldado y deshidratación osmo-convectiva de banano*. Zamorano.
- Barranzuela, M. (2016). *Estudio Experimental De La Obtención De Biocombustible A Partir De Cáscara De Plátano Y Su Uso En Cocinas Acondicionadas De La Industria Chiflera En La Ciudad De Piura, Perú*. Piura.
- Castro, H. (2021). *Exportaciones de bananos de Honduras*. Tegucigalpa.
- Corona, I. (Diciembre de 2007). *Biodigestores*. Obtenido de <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/362/Biodigestores.pdf?sequence=1>
- EMBER. (Marzo de 2022). *Global Electricity Review 2022*. Obtenido de https://ember-climate.org/app/uploads/2022/03/SP_Report-GER22.pdf
- Guevara, C. A. (2011). *Obtención de Etanol y Biogás a Partir de Banano de Rechazo*. Antioquia.
- ODS. (Diciembre de 2021). *Planificación Operativa de Largo Plazo 2022-2024*. Obtenido de https://www.ods.org.hn/pdf/2021/Plan_Generacion/2022/Informe%20Planificaci%C3%B3n%20Operativa%20de%20Largo%20Plazo%202022%20-%202024.pdf
- Ordoñez, J. L. (2019). *Rediseño del sistema de transporte de racimos de banano para la recolección en el campo: caso de estudio : Studer Innotec*. Costa Rica.
- Quintero, J. (Agosto de 2015). *Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente*. Obtenido de <https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/reiv3/article/view/109/108>
- Root. (Mayo de 2019). *Bioetanol: Comparación entre EE.UU y Brasil*. Obtenido de <http://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/bioetanol>
- Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia.

ANEXOS



*Ilustración 27. Zona de cultivo Finca Santa Rosa
Fuente: Elaboración Propia*



*Ilustración 28. Motores de Riego Finca Santa Rosa
Fuente: Elaboración propia*



Ilustración 30. Recolección de la Fruta de Rechazo
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 29. Zanja para Instalación de Biodigestor
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 31. Adaptador de 3/4" a 1/2"
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 32 Biodigestor Instalado sin Mezcla Dentro
Fuente: Elaboración propia

Modelado	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10	año 11	año 12	año 13	año 14	año 15
Generación anual de energía renovable [kWh]	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088
Generación anual de energía no-renovable [kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de energía generada[kwh]	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088	113088
Ingresos																
Tarifa energía [\$/kWh]	0.2600	0.2730	0.2867	0.3010	0.3160	0.3318	0.3484	0.3658	0.3841	0.4033	0.4235	0.4447	0.4669	0.4903	0.5148	
Total ingresos por venta de energía renovable [\$/]	29.403	30.873	32.417	34.038	35.739	37.526	39.403	41.373	43.441	45.614	47.894	50.289	52.803	55.444	58.216	
Total ingresos por venta de energía no-renovable [\$/]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total ingresos por venta de energía [\$/]	29.403	30.873	32.417	34.038	35.739	37.526	39.403	41.373	43.441	45.614	47.894	50.289	52.803	55.444	58.216	
Egresos																
Seguros	1.000	1.050	1.103	1.158	1.216	1.276	1.340	1.407	1.477	1.551	1.629	1.710	1.796	1.886	1.980	
Inversión social y ambiental	500	525	551	579	608	638	670	704	739	776	814	855	898	943	990	
Total gastos de operación y mantenimiento renovable [\$/]	1.280	1.344	1.411	1.482	1.556	1.634	1.715	1.801	1.891	1.986	2.085	2.189	2.299	2.414	2.534	
Total gastos de operación y mantenimiento no-renovable [\$/]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total egresos [\$/]	2.780	2.919	3.065	3.218	3.379	3.548	3.725	3.912	4.107	4.313	4.528	4.755	4.992	5.242	5.504	
Análisis Financiero SIN FINANCIAMIENTO																
Utilidad Bruta del Proyecto renovable [\$/]	26.623	27.954	29.352	30.819	32.360	33.978	35.677	37.461	39.334	41.301	43.366	45.534	47.811	50.201	52.711	
Utilidad Bruta del Proyecto no-renovable [\$/]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Impuestos sobre la Renta renovable [\$/]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.841	11.384	11.953	12.550	13.178	
Impuestos sobre la Renta no-renovable [\$/]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Neta del Proyecto [\$/]	26.623	27.954	29.352	30.819	32.360	33.978	35.677	37.461	39.334	41.301	43.366	45.534	47.811	50.201	52.711	
Flujo de efectivo Anual [\$/]	-121,374	-94,751	-66,797	-37,445	-6,626	25,734	59,712	95,390	132,851	172,185	213,486	246,010	280,161	316,019	353,670	393,204
Flujo de efectivo Acumulado [\$/]	-121,374	-216,125	-282,923	-320,368	-326,994	-301,260	-241,548	-146,158	-13,308	188,877	372,363	618,373	898,534	1,214,552	1,568,222	1,961,427
Flujo de efectivo descontado [\$/]	-121,374	-86,137	-55,204	-28,133	-4,526	15,979	33,706	48,950	61,976	73,023	82,308	86,225	89,268	91,539	93,132	94,130
Flujo de efectivo descontado acumulado [\$/]	-121,374	-207,512	-262,716	-290,849	-295,375	-279,396	-245,690	-196,740	-134,764	-61,741	20,567	106,792	196,060	287,599	380,731	474,861
último año acumulado negativo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Porción del año siguiente	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ilustración 33. Hoja de Cálculos para Análisis Financiero

Fuente: Elaboración propia con apoyo de documento brindado por catedrática de UNITEC.