



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS GENERALES A PARTIR DE UN PROTOTIPO DE

BIODIGESTOR DISCONTINUO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

21641033 BRAYAN JOSUÉ PÉREZ CARBALLO

21711106 CARLOS ARTURO ALVARADO ROBLES

ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE

CAMPUS SAN PEDRO SULA;

OCTUBRE, 2021

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DEL AUTOR(ES) PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN FÍSICA Y ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN DE UNITEC Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA

EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACION (CRAI)

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA (UNITEC)

Tegucigalpa

Estimados Señores:

Nosotros, Brayan Josué Pérez Carballoy Carlos Arturo Alvarado Robles, de Tegucigalpa, autor(es) del trabajo de pregrado titulado: PROTOTIPADO DE BIODIGESTOR A BASE DE GALLINAZA EN LA CEIBITA, SANTA BÁRBARA, presentado y aprobado en Septiembre del 2021, como requisito previo para optar al título de pregrado en Ingeniería en energía (en lo sucesivo, el "Trabajo Final de Graduación") y reconociendo que la presentación del presente documento forma parte de los requerimientos establecidos del programa de pregrado de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) y del Centro Universitario Tecnológico (CEUTEC), por este medio **AUTORIZAMOS** a la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) y el Centro Universitario Tecnológico (CEUTEC), para que:

- 1) A través de sus Centros Asociados y Bibliotecas de los "Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)", para que, con fines académicos, puedan libremente registrar, copiar o utilizar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales. Asimismo, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en los Centros de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios de dichos centros su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer, así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan

mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

2) De conformidad con lo establecido en la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos de la República de Honduras, se autoriza para que permita copiar, reproducir o transferir información del Proyecto de Graduación, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso del mismo, siempre y cuando resguarden la completa información textual o paráfrasis de esta.

Asimismo, en nuestra calidad de estudiante y/o autor del Trabajo Final de Graduación acepto que UNITEC/CEUTEC no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de presentación relacionado con el Trabajo Final de Graduación que el mismo autor distribuya antes y después de la entrega del documento a la Universidad.

Finalmente, declaramos bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que somos autor(es) del presente Trabajo Final de Graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original de los suscrito(s) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a UNITEC/CEUTEC; así como el Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

De conformidad con lo establecido en los artículos 9.2, 18, 19, 35 y 62 de la Ley de Derechos de Autor y de los Derechos Conexos; los derechos morales pertenecen al autor y son personalísimos, irrenunciables, imprescriptibles e inalienables, asimismo, por tratarse de una obra colectiva, Cedemos de forma ilimitada y exclusiva a la UNITEC/CEUTEC la titularidad de los derechos patrimoniales que surjan o se deriven del Trabajo Final de Graduación. Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de UNITEC/CEUTEC.

DEDICATORIA

A nuestros padres por apoyarnos en el proceso de convertirnos en profesionales, y forjar el profesional que me he vuelto hoy en día, y que sin ellos no seríamos las personas que somos hoy en día.

A nuestra familia en general, que de alguna u otra manera nos apoyaron durante el tiempo que estuvimos en la universidad.

AGRADECIMIENTOS

Primordialmente, a Dios quien fue quien nos dio la fortaleza y la sabiduría para poder afrontar cualquier problema durante todo este proceso de pregrado.

A nuestra asesora metodológica Ing. Alicia Reyes y nuestro asesor Ing. Jorge Santos, quienes fueron quienes nos asesoraron y nos enseñaron como desempeñarse de la mejor manera en esta última etapa de la carrera.

A todos los docentes, por los conocimientos compartidos con nosotros en cada una de las clases impartidos por ellos.

A nuestras amistades, que de cierta manera nos ayudaron en la universidad.

RESUMEN EJECUTIVO

Las zonas rurales en Honduras son de las áreas en la que mayormente se presente un déficit de los servicios públicos por ello buscan una alternativa a la falta de energía eléctrica y gas y una de ellas es la biomasa, de la población total de Honduras el 46% es población rural, del cual un 54.46% de la población de Honduras consume biomasa, un aproximado de 1,049,069 de hogares de hogares presentan un consumo de 7.83 m³ en leña, el cual representa un total de \$ 217.00 por hogar. En la Ceibita, Santa Barbara, es un municipio donde se carece bastante de los servicios antes mencionados, por lo que se elaboró un prototipo de biodigestor en dicho sector, para beneficio de los hogares aledaños a la granja avícola Emmanuel, lugar de donde se sustrajo la materia orgánica para la operación de dichos biodigestores, se presenta dos escenarios del prototipo, una de ellas es la mezcla de los gases producidos por gallinaza, y el estiércol de vaca, y el otro la mezcla de ambas materias orgánicas en un solo biodigestor, con base a los antes descrito, se evalúa las características generales que se presentan en ambos procesos, además se denota como el pH en la materia es directamente proporcional a la temperatura, según las muestras extraídas en ambos escenarios se muestra en promedio que el pH decae en un aproximado de 40%. El comportamiento de los compuestos del biodigestor discontinuo se simuló en MATLAB, en complemento a un análisis de la composición molecular elaborado en ASPEN PLUS, mostrando la cantidad de acetona que se podría extraer, y la relación de carbono/nitrógeno, del cual el estiércol de vaca presente una mejor relación en comparación a la gallinaza.

Palabras clave: Aspen, Biomasa, Carbono/Nitrogeno, Biodigestor discontinuo, Energía renovable, Matlab

ABSTRACT

Rural areas in Honduras are the areas in which there is a deficit of public services, so they seek an alternative to the lack of electricity and gas and one of them is biomass, of the total population of Honduras 46% is rural population, of which 54.46% of the population of Honduras consumes biomass, approximately 1,049,069 households of households have a consumption of 7.83 m³ in firewood, which represents a total of \$ 217.00 per household. In La Ceibita, Santa Barbara, is a municipality where there is a lack of the services mentioned above, so a biodigester prototype was developed in this sector, for the benefit of households adjacent to the Emmanuel poultry farm, where the organic matter for the operation of these biodigesters was taken, and cow manure, and the other is the mixture of both organic materials in a single biodigester, based on the above described, the general characteristics that are presented in both processes are evaluated, it is also noted how the pH in the material is directly proportional to the temperature, according to the samples taken in both scenarios shows on average that the pH decreases by approximately 40%. The behavior of the compounds of the batch biodigester was simulated in MATLAB, in complement to an analysis of the molecular composition elaborated in ASPEN PLUS, showing the amount of acetone that could be extracted, and the carbon/nitrogen ratio, of which cow manure presents a better ratio compared to chicken manure.

Key Words: *Aspen, Biomass, Carbon/Nitrogen, Batch Biodigester, Matlab, Renewable energy*

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción	17
II.	Planteamiento del problema.....	18
2.1	Precedentes del problema.....	18
2.2	Definición del problema	19
2.3	Justificación	19
2.4	Preguntas de investigación	22
2.5	Objetivos.....	22
2.5.1	Objetivo general.....	22
2.5.2	Objetivos específicos	22
III.	Marco teórico.....	23
3.1	Análisis de situación actual.....	23
3.1.1	Macroentorno.....	24
3.1.1.1	Situación de residuos en Chile	24
3.1.2	Microentorno.....	25
3.1.2.1	Biomasa en Honduras.....	25
3.1.2.2	Estudios de biogás en el Salvador	27
3.2	Teorías del sustento	28
3.2.1	Biomasa.....	28
3.2.1.1	Biodigestión.....	29
3.2.1.2	Biogás y su composición	30
3.2.1.3	Biogás comparado con otros gases basados en metano	30
3.2.1.4	La hidrólisis	31
3.2.1.5	La acidogénesis	32
3.2.1.6	La acetogénesis y metanogénesis.....	32

3.2.1.7	La metanogénesis.....	32
3.2.2	Biodigestores.....	32
3.2.2.1	Tamaño y tipo de biodigestores.....	33
3.2.2.1.1	Biodigestores domésticos.....	33
3.2.2.1.2	Biodigestores de pequeña escala.....	34
IV.	Metodología.....	35
4.1	Enfoque.....	35
4.2	Variables de investigación.....	35
4.2.1	Variable dependiente.....	36
4.2.2	Variables independientes.....	36
4.2.2.1	Tipo de sustrato.....	36
4.2.2.2	Temperatura del sustrato.....	37
4.2.2.3	Nivel de acidez (pH).....	37
4.2.2.4	Relación de Carbono/Nitrógeno.....	37
4.2.2.5	Concentración de Sustrato.....	37
4.2.2.6	Grado de mezclado.....	38
4.3	Hipótesis.....	38
4.4	Técnicas e instrumentos aplicados.....	38
4.4.1	Técnicas.....	38
4.4.1.1	Revisión de literatura.....	38
4.4.2	Instrumentos.....	39
4.4.2.1	Matlab.....	39
4.4.2.1.1	Simulink.....	39
4.4.2.1.2	Microsoft Excel.....	39
4.4.2.1.3	ArcGIS Pro.....	39

4.5	Población y muestra.....	39
4.5.1	Población.....	40
4.5.2	Muestra.....	40
4.6	Metodología de investigación.....	40
4.6.1	Paso 1	41
4.6.2	Paso 2	41
4.6.3	Paso 3	42
4.6.4	Paso 4	43
4.6.5	Paso 5	43
4.6.6	Paso 6	43
4.7	Cronograma de actividades	43
V.	Resultados y análisis.....	44
5.1	Simulaciones	45
5.1.1	Simulación en Matlab.....	45
5.1.2	Simulación en Aspen	46
VI.	Conclusiones.....	52
VII.	Recomendaciones	53
VIII.	Bibliografía	54
IX.	Anexos.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Energéticos utilizados en Honduras.....	21
Ilustración 2 - Proceso de degradación de la materia orgánica.....	29
Ilustración 3 - Sistemas domésticos.....	33
Ilustración 4 - Variables de investigación.....	36
Ilustración 5 - Metodología de investigación.....	40
Ilustración 6 - Estructura de biodigestor.....	41
Ilustración 7 - Diseño en 3D.....	42
Ilustración 8 - Diseño en Matlab de Biodigestor.....	42
Ilustración 9 - Cronograma de actividades.....	43
Ilustración 10 - Geolocalización de Ceibita, Santa Bárbara.....	44
Ilustración 11 - Comportamiento de temperatura en granja avícola Emmanuel.....	45
Ilustración 12 - Compuestos de biodigestor.....	46
Ilustración 13 – Especificaciones generales en Aspen.....	47
Ilustración 14 - Especificaciones de operación en Aspen.....	47
Ilustración 15 - Biodigestor discontinuo en ASPEN.....	48
Ilustración 16 - Obtención de acetona de compuestos en ASPEN.....	49
Ilustración 17 - Temperatura de compuestos en ASPEN7.....	49
Ilustración 18 - pH.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Porcentaje de la población hondureña con y sin servicio de energía eléctrica.....	18
Tabla 2 - Producción de energía primaria en los años 1992 y 1993 en México.....	20
Tabla 3 - Consumo final de energía por sectores.....	20
Tabla 4 - Composición de los residuos domiciliarios de Santiago en porcentaje.....	25
Tabla 5 - Porcentaje de composición de biogás.	30
Tabla 6 - Características del metano.....	30
Tabla 7 -Temperaturas de bacterias.....	37
Tabla 8 - Características de gallinaza.....	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 - Relación química.....	46
------------------------------------	----

SIGLAS

I. INTRODUCCIÓN

En Honduras los proyectos de difusión de estufas para el uso de leña se han consolidado debido a la gran cantidad de personas que hacen uso de ella, se estima que en el país un 54.46% usa biomasa en sus hogares, siendo un 89.1% población rural.

Dicha población ha utilizado ya por muchos tiempos la biomasa como fuente energética aun así con el déficit que existe en la población hondureña referente a servicios de energía eléctrica,

En la Ceibita, Santa Bárbara, debido al déficit de los servicios de gas GPL y servicios de energía, las personas del municipio no reducen la dependencia de leña.

Por otro lado, la acumulación proveniente de la biomasa que se cuenta en el municipio debido a los agricultores que se concentran en el lugar, se puede adquirir en cantidades considerables, suficientes para abastecer un biodigestor de uso doméstico.

Por ello en el presente documento se propone el diseño de un prototipo de biodigestor, a partir de la gallinaza adquirida en una granja avícola de la zona, además de estiércol de vaca, se mostrará un análisis de la producción de biogás a partir de la combinación de los componentes orgánicos, como la producción de los gases con los componentes por separado, con base a ellos se mostrará cuál escenario muestra una mayor eficiencia, y una mejor relación de carbono nitrógenos.

Este documento consta siete capítulos, en el segundo capítulo se muestra los antecedentes que se han presentado en la tecnología de biomasa, en el capítulo 3 se detallan todas las teorías que sustentan la presente investigación, el capítulo de denota la metodología que más se apega a la investigación, en el capítulo cinco se ilustra los resultados obtenidos, y en los últimos dos capítulos, las conclusiones obtenidas en la investigación, y las recomendaciones para investigaciones futuras.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección del documento, se detallarán todos los elementos que se consideran dentro del problema de investigación que se llevara a cabo en el presente documento, dicha sección tiene como finalidad denotar los parámetros que se tomarán en cuenta para la presente investigación. En dicha sección se muestra los precedentes del problema, definición del problema, justificación de la importancia del tema a investigar, en conjunto con las preguntas de investigación, como también los objetivos que se definirán en el presente capítulo.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

En Honduras es evidente el déficit de un combustible económico y de fácil acceso en las zonas rurales, por lo que los habitantes pertenecientes a dichas comunidades se ven obligados a buscar una mejor opción para lo que es la quema de madera en actividades de cocción de los alimentos como medio para desarrollar sus actividades económicas.

Según la ((FAO), 2020) la mitad de la población hondureña no tiene acceso a los servicios de energía eléctrica, en la tabla 1, se muestra el porcentaje de población que cuenta con dichos servicios, y el porcentaje de la población que carece de suministro eléctrico.

Población	Número de personas	Población con electricidad	Población sin electricidad
Urbana	2,044,000	82%	0.18
Rural	2,845,000	29%	0.71
Nacional	4,889,000	2,501,130	2,387,870

Tabla 1 - Porcentaje de la población hondureña con y sin servicio de energía eléctrica

Fuente: (PNUD/SECPLAN, 1993)

Según lo que se muestra en la tabla 1, se observa que mayormente la población rural ha sido menos beneficiada por los programas de extendido de la red eléctrica. Básicamente, se podría justificar este comportamiento por el alto costo de extensión de las líneas de transmisión en el sector rural y por la baja capacidad de consumo que tienen los habitantes del campo. ((FAO), 2020)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Según censo de la (INE, 2013) la población total de Honduras el 46% es población rural, del cual un 54.46% de la población de Honduras usa biomasa, debido a que en dichos sectores se presentan una gran cantidad de dificultades y no cuentan con suministros eléctricos, debido a que 1,049,069 de hogares del cual presentan un gasto de 7.83m³ de leña por cada hogar, representando un total de 217 dólares por hogar. En la Ceibita, Santa Barbara, es un municipio donde se carece de servicios de gas y servicios eléctricos, en el presente documento se propone la elaboración de un biodigestor, para abastecer a los hogares aledaños a la granja avícola, de donde se extraería el componente orgánico para la producción de Biogás.

2.3 JUSTIFICACIÓN

El 42% de la energía utilizada en Honduras proviene de la leña, siendo este recurso una de las principales fuentes energéticas para los hogares y pequeñas empresas rurales (Flores , El sector energético de Honduras, 2015). El alto nivel de consumo de leña es una amenaza para las áreas forestales de Honduras. En Honduras el incremento anual en el consumo de leña es aproximadamente el 3% estimando un consumo de 11 millones de metros cúbicos al año. (FHIA, Mejorando el ambiente de la familia rural y conservando los recursos naturales, 2015)

La problemática con relación a la explotación de este recurso no se limita a su utilización en los hogares, sino que también se asocia con problemas relacionados a la degradación de las áreas forestales y la salud de los usuarios. Con el corte y movimiento de árboles, sobre todo en las zonas de ladera, se propicia la destrucción de la capa superficial del suelo. Este hecho trae como consecuencia una mayor probabilidad de deslizamientos de tierra, reducción de la biodiversidad y la disminución de la lluvia. (Diamond, 2014)

Para el año 1993 la producción nacional de energía primaria fue de 2.126,5 Petacalorías¹ de las cuales el 89,7% correspondió a los hidrocarburos como principal fuente de energía, el 4,4% a la biomasa y a la electricidad respectivamente y el 1,5% al carbón. ((FAO), 2020)

Donde 1 Petacalorías es igual a 1,0¹⁵ calorías con relación a como se presentan en los hidrocarburos del 89.7%, el 69.3% se adjudica al petróleo crudo, el 15% al gas asociado, el cual registró un aumento del 0,3% con relación al año anterior, el 3% a productos condensados y el 2,4% a gas no asociado. (CEPAL, Centroamérica y Republica Dominicana: estadísticas de hidrocarburos, 2016)

En la tabla 2, se denota que, en cuanto a la Biomasa, del 4.4%, el 3.4% proviene de la leña y el 1% restante del bagazo de caña. A su vez, con respecto a la electricidad, del 4.4%, el 3.1% corresponde a la hidroenergía, del cual un 0.7% es destinado a geoenergía y el 0.6% a la energía nuclear.

Fuentes primarias de energía	1,992		1993	
	Petacalorías	%	Petacalorías	%
Total Nacional	2,119,408.00	100	2,126,548.00	100
Carbón	30.06	1.4	32.54	1.5
Hidrocarburos	1,907,612.00	90	1,907,733.00	89.7
Petróleo crudo	1,469,359.00	69.3	1,473,603.00	69.3
Condensados	67.44	3.2	64.24	3
Gas no asociado	58.53	2.80	50.44	2.4
Gas asociado	312.29	14.70	319.45	15
Electricidad	90.52	4.30	92.83	4.4
Nucleoenergía	10.00	0.50	12.68	0.6
Geoenergía	14.65	0.70	14.67	0.7
Hidroenergía	66.87	3.10	65.48	3.1
Biomasa	91.22	4.30	93.45	4.4
Leña	71.66	3.40	72.10	3.4
Bagazo de caña	19,551.00	0.90	21,346.00	1

Tabla 2 - Producción de energía primaria en los años 1992 y 1993 en México

Fuente: (Secretaría de Energía, 1993)

Con relación al consumo final, en la tabla 3, se muestra el consumo de energías por sectores, en 1992, el 39% correspondió al transporte, el 34% a la industria y a la minería, el 24% al sector residencial y público y el 3% al sector agropecuario. ((FAO), 2020)

Sector	%
Transporte	39
Industria y Minería	34
Residencial, Comercial y Público	24
Agropecuaria	3
Total	100

Tabla 3 - Consumo final de energía por sectores

Fuente: (SEMIP, 2000)

Según la (ENEE, 2015) en la actualidad El sector residencial es el de mayor consumo a nivel nacional, donde el 52% de la demanda se registra en el Litoral, seguido de Centro Sur con un 48% y 30% en Noroccidente. En cuanto al Sector comercial el mayor consumo se ve en el Litoral con un 30%, Centro Sur 29% y 22% en Noroccidente.

Así mismo en el sector industrial la mayor exigencia de energía es en la zona Noroccidente con un 18%, mientras el 9% en el Litoral y 8% en Noroccidente. Seguidos de un 26% de energía solicitada por Altos Consumidores en Noroccidente y 6% en Centro Sur. (ENEE, 2015)

En cuanto a la distribución de las fuentes de energía en el país, en la ilustración 1, se ubican en forma general recursos de energía renovable y no renovable.

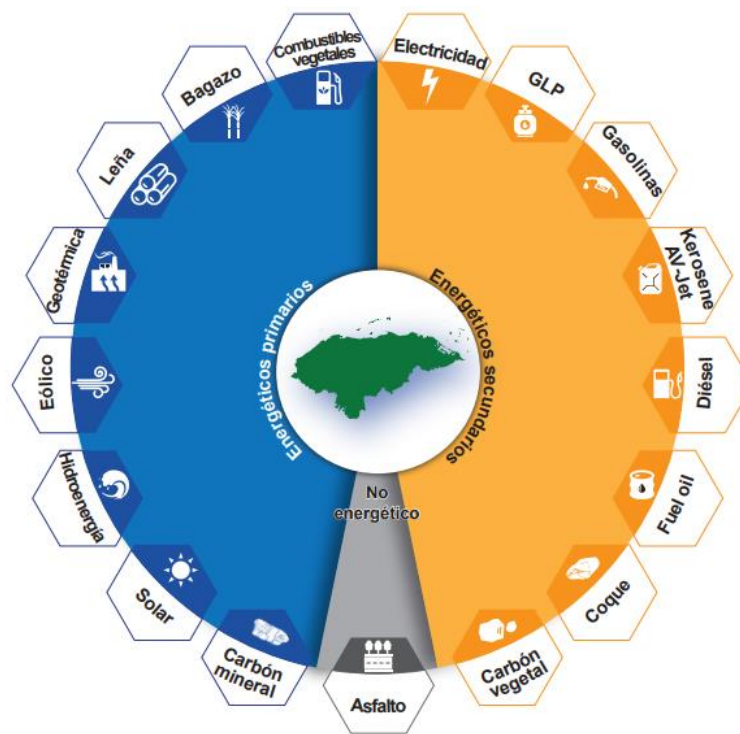


Ilustración 1 - Energéticos utilizados en Honduras

Fuente: (Energía, 2018)

Según (Flores, 2009) el 42% de la energía utilizada en Honduras proviene de la leña, siendo este recurso una de las principales fuentes energéticas para los hogares y pequeñas empresas rurales, por lo que su alto consumo representa una gran amenaza por la cantidad de emisiones que se generan en su quema, además del gran porcentaje de árboles que se talan, con el pasar del tiempo en Honduras se incrementa aproximadamente un 3% un consumo de 11 millones de metros cúbicos al año. (FHIA, 2015)

La implementación de un biodigestor en dichos sectores, se podría reducir de manera significativa las emisiones que se generan en la quema de leña para la cocción de alimentos. La producción de biogás reduciría la dependencia del uso de leña para el uso doméstico, como lo es la cocina o calentamiento de agua.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál será la capacidad útil del biodigestor?
2. ¿Cuánto se podría cubrir la demanda con el prototipo de una casa típica?
3. ¿Cuánto es la relación de carbono/nitrógeno obtenido de los compuestos?

2.5 OBJETIVOS

La presente investigación tiene como finalidad obtener resultados confiables a partir del prototipo a realizar de un biodigestor en el departamento de Santa Barbara, y con base a lo antes mencionado, entregar datos validados para determinar la eficiencia que el biodigestor propuesto para la presente investigación presentó. En este apartado del documento dispone de los objetivos establecidos para alcanzar el resultado deseado en el proceso de la investigación.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar las características generales obtenidas a partir de la mezcla de gases de los compuestos orgánicos de estiércol de vaca y gallinaza, en comparación a la mezcla de ambos compuestos en un solo biodigestor.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dimensionar la capacidad en litros del biodigestor
- Efectuar el cálculo y diseño básico de los componentes principales de la instalación.
- Cuantificar la cantidad de biogás que se obtendría en el proceso
- Denotar la cantidad de acetona se obtendría a partir del proceso
- Denotar la sensibilidad que presenta el pH con respecto a la temperatura
- Mostrar la relación de carbono/nitrógeno de los compuestos.

III. MARCO TEÓRICO

La presente investigación se basa en la elaboración de un biodigestor para la producción de biogás en una granja avícola, por lo que se busca aprovechar la gallinaza para la producción de la misma. El tamaño del biodigestor se dimensionará a partir de la cantidad de carga de materia volátil y al tiempo de retención a la que esta estará expuesta. El actual capítulo tiene como finalidad explicar las distintas variables que afectan directamente la producción de biogás, además de desglosar cada uno de los componentes que incorporan un biodigestor.

3.1 ANÁLISIS DE SITUACIÓN ACTUAL

Los sistemas de energía de biomasa son fuentes importantes de empleo e ingresos. Dado que la producción de biomasa requiere mucha mano de obra, las oportunidades de desarrollo para aumentar el empleo pueden desempeñar un papel importante en los esfuerzos por promover el desarrollo rural.

El potencial de creación de empleo de la producción, conversión y comercialización de biomasa suele ser mucho mayor que en otros sistemas energéticos. La electricidad y otros servicios que utilizan biomasa requieren mucha mano de obra que los servicios basados en combustibles fósiles, con menos economías de escala y modularidad. Con los incentivos adecuados para que los pequeños agricultores comercialicen biomasa para el crecimiento en asociación con el sector privado, el nivel de autoempleo en las zonas rurales puede aumentar significativamente.

Otra faceta de desarrollo de los sistemas de biomasa es que requieren de una inversión mucho menor por unidad de trabajo creado en comparación a los proyectos industriales, industrias petroquímicas o plantas hidroeléctricas y además contribuyen a crear una infraestructura rural importante tal como redes de caminos. El enlace entre los cambios en el desarrollo de la infraestructura rural y crecimiento está bien establecido. Lo mismo podría aplicarse a la distribución y mercadeo de alimentos. ((FAO), 2020)

Los sistemas de energía de biomasa, de naturaleza descentralizada, pueden ofrecer una oportunidad única para una distribución más regional de la riqueza y, por lo tanto, para aumentar la equidad en el desarrollo entre las áreas rurales y urbanas. Hoy en día, la mayoría de las poblaciones rurales de los países en desarrollo no necesitan energía básica como la

electricidad y el suministro de agua. La falta de energía también se considera uno de los principales obstáculos para la provisión de servicios básicos de salud. El sistema energético descentralizado es quizás la única respuesta a los graves problemas energéticos que afligen a más del 50% de la población mundial.

3.1.1 MACROENTORNO

En el análisis de macroentorno se realiza a nivel mundial, donde se recopila información de datos generales de la industria de biomasa y generación de biogás, de los países que presentar mayor desarrollo de dicha tecnología.

3.1.1.1 *Situación de residuos en Chile*

En Chile al igual que en la mayoría de los países en el mundo, el desarrollo de sus ciudades trae como consecuencia la generación de grandes cantidades de desperdicios sólidos urbanos, de naturaleza heterogénea, que afectan a la calidad de vida de la población en la medida que esto no se gestione de forma sanitaria. Según el origen de los desechos sólidos urbanos estos se califican de diferente manera. De esta forma conocemos los residuos industriales, comerciales, institucionales, de servicios, escombros, voluminosos y de limpieza diaria. (Sáez & Urdaneta G.)

En Chile la gestión de estos residuos sólidos es por cuenta de las Municipalidades y/o privados, desde la recogida transporte y disposición final. El manejo de los residuos ha adquirido importancia, a lo que se agrega la promulgación de una ley ambiental y una aprobación de una nueva ley de rentas Municipales, que permitirá la recuperación de recursos económicos a partir de estos residuos. (Sáez & Urdaneta G.)

En el tema de residuos sólidos, al igual que en el resto de América Latina y el Caribe, no existe una estadística fiable que permita tener un conocimiento cabal del problema. Sin embargo, los datos aportados por diferentes especialistas e informes de investigaciones llevadas a efecto por la Universidad, permiten tener una visión aproximada de la situación actual. (Sáez & Urdaneta G.)

La generación de residuos, depende de los factores culturales, hábitos de consumo, niveles de ingreso, clima, entre otros. Una diferenciación importante se da entre los estratos sociales y en especial entre el sector rural y el urbano (Sáez & Urdaneta G.)

La producción diaria de residuos en Chile [14], es del orden de siete mil toneladas, de las cuales el 60,2 % corresponde a la Región Metropolitana y el 39,8 % al resto de país dividido en doce regiones con un total aproximado de 14,5 millones de habitantes. (Sáez & Urdaneta G.)

Componentes	Año					
	1973	1977	1983	1990	1991	1992
Materia orgánica	73.0	68.29	62.2	68.14	55.05	49.3
Papel y cartón	16.0	19.26	18.9	14.85	16.77	18.8
Esc., cenizas y lozas	0.6	1.58	6.5	-	3.75	5.9
Plástico	2.2	2.38	4.4	5.82	8.15	10.3
Textiles y cueros	2.0	3.73	3.6	3.85	7.50	4.3
Metales	2.8	2.95	2.5	2.17	2.22	2.3
Vidrios	0.9	0.86	1.3	1.44	1.73	1.6
Huesos	2.0	0.29	0.3	-	1.43	0.5
Otros	0.5	0.66	0.3	-	3.42	7.0
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Densidad	0.3	0.164	0.192	3.73	0,202	0.220
Humedad	66.4	-	64.7	-	53.9	50.3

Tabla 4 - Composición de los residuos domiciliarios de Santiago en porcentaje

Fuente: ((FAO), 2020)

En la tabla 4, se muestra la relación de materia orgánica, correspondiente a la fracción putrescible que tiende a decrecer a medida que aumenta la fracción combustible. Esta marca un grado importante de desarrollo.

3.1.2 MICROENTORNO

En el análisis de microentorno se realiza el territorio hondureño y de países aledaños, haciendo un énfasis de la tecnología de biomasa y como este se ve reflejado en el consumo energético de la región.

3.1.2.1 Biomasa en Honduras

La biomasa en Honduras puede tornar más factible económicamente la extensión de la energía eléctrica hacia las comunidades rurales más aisladas. Primeramente, el uso de la biomasa que es una energía agrícola, favorece la inyección de recursos en el sector rural, con el cultivo y la

compra de desechos de biomasa. A través del incremento de las oportunidades de empleos en estas áreas, aumenta el poder adquisitivo de la población, lo que favorece a un mayor consumo de energía eléctrica, justificando más fácilmente un proyecto de electrificación rural. Actualmente con la generación de más de 100 mega watts a partir de hidrocarburos, Honduras necesita importar aproximadamente \$EE.UU. 6 millones mensuales en combustibles fósiles. Estos preciosos recursos se están fugando de un país, que los necesita para financiar su crecimiento. Si se presentara un plan de mediano y largo plazo para convertir estas plantas térmicas en biomasa, estos recursos podrían a la vez ser invertidos en el sector rural del país, fortaleciendo la economía rural hondureña. ((FAO), 2020)

También, el uso de la biomasa favorece la descentralización y la independización de la generación, evitando la necesidad de las costosas líneas de transmisión de larga distancia. En el caso específico de Honduras, la región de La Mosquitia es una región ideal para un proyecto de biomasa, por su condición aislada, de abundancia del bosque tropical, y de bajo poder adquisitivo de la población. En acuerdo a los modelos actuales de extensión de las líneas eléctricas, en que a partir del sistema interconectado se extienden las demás líneas, La Mosquitia podría recibir energía eléctrica talvez en cuarenta o cincuenta años. Sin embargo, a través de un proyecto basado en la biomasa, se ahorraría las largas líneas de transmisión, se compraría el combustible localmente donde hay abundante oferta de biomasa (comprobadamente sostenible) e inyectaría recursos en la economía rural, creando empleos e incrementando la demanda de energía. ((FAO), 2020)

Al contrario de La Mosquitia, la Zona Sur de Honduras es una región de colonización antigua, ya bastante deforestada. Actualmente se estima que menos de 10% de la cobertura forestal permanece en la región. En esta región naturalmente semiárida, la deforestación ha ocasionado algunos problemas como la escasez pronunciada de madera, agua y la migración de su gente hacia las áreas boscosas de La Mosquitia. Un proyecto de generación energética basada en biomasa, podría crear una industria regional que beneficiaría a los campesinos. Primeramente, crearía una demanda industrial para madera plantada, introduciendo la reforestación como una actividad comercialmente atractiva, y segundo a través de la optimización del uso de la tierra, fijaría el hombre al campo, minimizando la migración hacia nuevas áreas forestales y a los superpoblados centros urbanos. ((FAO), 2020)

Otra región de Honduras que podría beneficiarse de proyectos bioenergéticos, son las áreas de concentración de la industria forestal. Generalmente, los aserraderos de Honduras no usan sus residuos y los quema en pilas a cielo abierto. Estas pilas permanecen en combustión permanente, creando una nube de humo a baja altitud contaminando el aire, y frecuentemente están a la orilla de los ríos y quebradas, contaminando también las fuentes de agua. Una industria que consumiera todos estos residuos eliminaría un problema ambiental para el país, generaría empleos y servicios necesarios para su adquisición, además de convertir un desecho en energía, desplazando posiblemente el petróleo importado. ((FAO), 2020)

3.1.2.2 Estudios de biogás en el Salvador

Los sistemas energéticos de biomasa son generadores importantes de empleo e ingresos. Como la producción de biomasa demanda de mano de obra, las oportunidades de desarrollo para incrementar el empleo podrían desempeñar un rol importante en el esfuerzo que se hace para impulsar el desarrollo rural. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

El potencial de generación de empleo a partir de la producción, conversión y mercadeo de biomasa, es normalmente mucho más alto comparado con otros sistemas energéticos. Los servicios eléctricos y otros servicios energizados con biomasa tienen una demanda intensiva de trabajo en comparación con aquellos basados en combustibles fósiles, con pocas economías de escala en términos de tamaño y modularidad. Dados los incentivos apropiados a productores de pequeña escala para comercializar biomasa en crecimiento en conjunto con el sector privado, podría elevarse notablemente el nivel de autoempleo en las áreas rurales. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

Otra faceta de desarrollo de los sistemas de biomasa es que requieren de una inversión mucho menor por unidad de trabajo creado en comparación a los proyectos industriales, industrias petroquímicas o plantas hidroeléctricas y además contribuyen a crear una infraestructura rural importante tal como redes de caminos. El enlace entre los cambios en el desarrollo de la infraestructura rural y crecimiento está bien establecido. Lo mismo podría aplicarse a la distribución y mercadeo de alimentos. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

Los sistemas de biomasa para energía, descentralizados por naturaleza, pueden proveer una oportunidad única para una distribución más regional de la riqueza y, por lo tanto, de acrecentar la equidad del desarrollo entre las áreas rurales y urbanas. En la actualidad, la mayoría de los pobladores rurales de los países en desarrollo están privados de sus necesidades básicas de energía tales como electricidad y suministro de agua. La falta de energía es considerada también como la principal barrera para proveer medios básicos de cuidado de la salud. Los sistemas energéticos descentralizados son probablemente la única respuesta para los serios problemas energéticos que enfrenta más del 50% de la población mundial. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

3.2 TEORÍAS DEL SUSTENTO

Los combustibles vegetales siempre han sido una fuente de energía importante para la generación de energía. El uso de residuos de la industria de la madera como combustible es el ejemplo más representativo y típico de esta industria. Ejemplos de este tipo son fáciles de encontrar en varios países de la región.

En la presente sección se denotan las distintas teorías que fundamentan los argumentos empleados en la investigación. Con base a lo anterior se detallará de una manera más clara de lo que se pretenden lograr alcanzar en la investigación que se lleva a cabo. Dentro de las teorías del sustento se encuentran los conceptos básicos de la producción de biogás a partir de desechos orgánicos, como de su composición como conceptos técnicos que ayuden a la comprensión y desarrollo de la investigación.

3.2.1 BIOMASA

En general cualquier sustrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales. Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos. (Perez Medel, 2010)

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende, se busca que sea lo más alto posible.

- El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás).

3.2.1.1 Biodigestión

Con los años, el proceso de digestión anaeróbica se ha especializado, actualmente existen varias áreas de aplicación (ver ilustración 2). El objetivo buscado hasta ahora, es denotar que todos los procesos son consistentes para detener la emisión de metano a la atmósfera para prevenir el calentamiento global y utilizarlo como fuente de energías renovables y protegen el medio ambiente y los recursos hídricos y ayudan a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible.

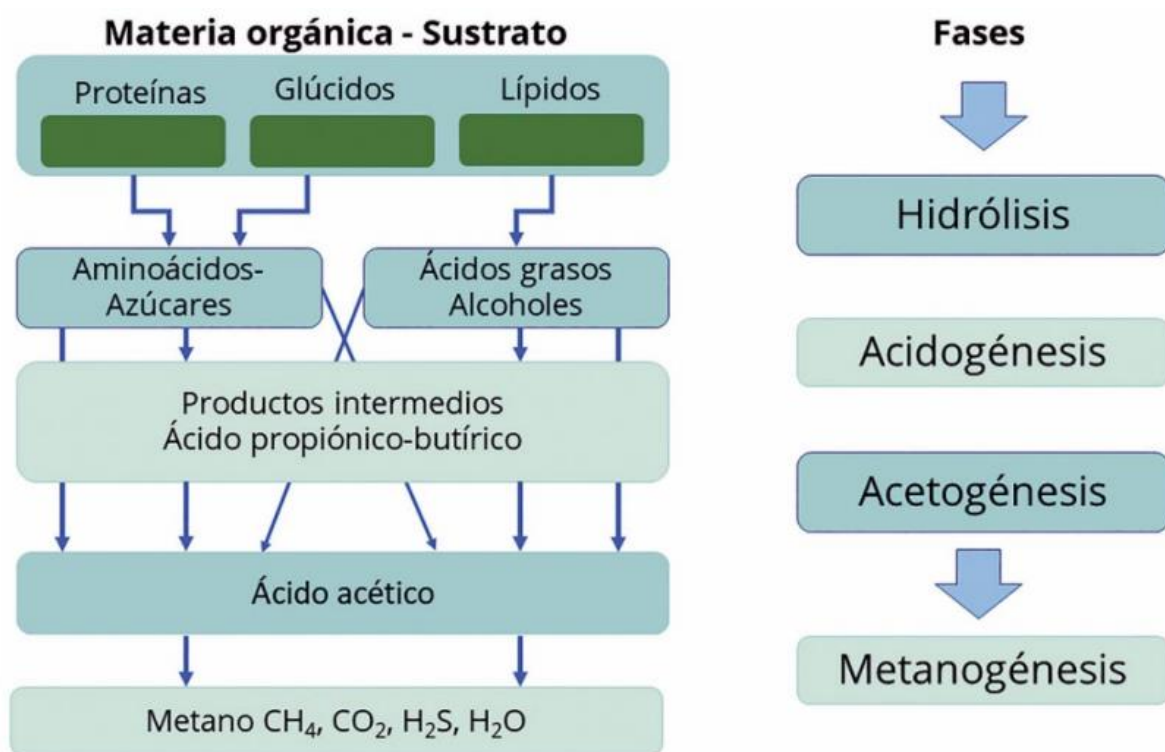


Ilustración 2 - Proceso de degradación de la materia orgánica

Fuente: (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

3.2.1.2 Biogás y su composición

Según (Oyuela Barahona, 2010) el biogás es una mezcla de metano CH₄ llamada biogás, que representa del 54% al 70% CH₄ y entre 27% y 45% dióxido de carbono (CO₂), también contiene Pequeñas cantidades de hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Esta generación se debe a la descomposición producida por la actividad de bacterias anaeróbicas en la carga. De materia orgánica. Hay todo tipo de residuos orgánicos en la naturaleza. Que puede producir biogás. La composición del biogás depende del tipo de biogás del material orgánico o los residuos que se utilizan y las condiciones del proceso.

Esto es difícil que determine exactamente cuál es la composición del biogás en sí. Los resultados obtenidos en el Instituto Mexicano de Electricidad (1980), se determinó La composición del biogás está entre 60% a 70% de CH₄ y 30% a 40% de CO₂ (Botero R., 1987).

Componente	Porcentaje [%]
CH ₄	54 -70
CO ₂	27 - 45
N ₂	0.3 - 3
H ₂	0.1 - 10
CO	0.1
O ₂	0.1
H ₂ S	Trazas

Tabla 5 - Porcentaje de composición de biogás.

Fuente: ((SAC), 2002)

3.2.1.3 Biogás comparado con otros gases basados en metano

A continuación, en la tabla 6, se muestra las características generales que posee el metano.

	Temperatura [°C]	Temperatura [K]	Presión [bar]	Densidad [kg/L]
Punto crítico	-82.59	190.56	45.98	0.162
Punto de ebullición a 1,013 bar	-161.52	11.63	0	0.4226
Punto triple	-182.52	90.68	0.117	0

Tabla 6 - Características del metano

Fuente: (Deublein & Steinhauser, 2008)

El gas más conocido que posee metano es el biogás, existen muchas variantes de gas natural dependiendo de su lugar de origen y se diferencian en su composición química, en su razón de elementos químicos y por ende en sus propiedades. (Perez Medel, 2010)

Internacionalmente Alemania lidera la utilización de Biogás, este procede en un 51% de Europa del Oeste (Dinamarca, Holanda, Noruega y Reino Unido) y un 31% se importa desde Rusia. Dependiendo del país de origen se pueden distinguir 5 diferentes calidades agrupadas según:

- H Gases
 - GUS gas
 - North sea gas
 - Compound gas
- L Gases
 - Holland gas
 - Osthannover gas

Las diferencias radican en el índice de Wobbe (Zohrab, 2004) , poder calorífico y contenido de metano

A su vez se puede establecer 4 niveles de calidad en la cadena de suministro del biogás:

- Local
- Regional
- Nacional
- Internacional

3.2.1.4 La hidrólisis

Es la primera etapa del proceso de digestión anaeróbica; las enzimas extracelulares producidas por las bacterias fermentadoras ocupan parte de la materia orgánica formada por especies Polímeros de carbono complejos de carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, y Fragmentación en moléculas de carbono más simples con cadenas de compuestos más cortas. Soluble, será metabolizado por bacterias anaeróbicas en la célula. Ácidos orgánicos, monosacáridos y aminoácidos oligosacáridos, polioles (por ejemplo, glucosa, Galactosa, arabinosa, manosa, glicerol, purina, piridina y aminoácidos) así liberará hidrógeno y dióxido de carbono.

3.2.1.5 *La acidogénesis*

Es la segunda etapa del proceso de digestión anaeróbica y constituye el paso más rápido del proceso desde el punto de vista cinético. En esta etapa los productos obtenidos en la fase de hidrólisis resultan fermentados por bacterias anaeróbicas o facultativas acidogénicas produciendo ácidos grasos volátiles de bajo peso molecular como el ácido acético, fórmico, propiónico, butírico, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno, entre otros. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

3.2.1.6 *La acetogénesis y metanogénesis*

La acetogénesis constituye la tercera etapa del proceso de digestión anaeróbica. En la misma, los ácidos grasos volátiles son transformados en sustratos propios de la metanogénesis, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas. (Corrales, Antolinez Romero, & Bohórquez Macías, 2015)

3.2.1.7 *La metanogénesis*

Finalmente, en la última etapa el hidrógeno y el acetato son transformados en una mezcla de metano y dióxido de carbono (metanogénesis). En esta etapa se genera metano y se acumula en la cámara del digestor para que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones. Las relaciones en la concentración del CH₄ y CO₂ en el biogás podrán variar dependiendo de varios factores, entre ellos el estado de madurez del biodigestor, los niveles de alimentación de la materia orgánica, el tipo de materia orgánica, entre otros. (CEPAL, Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador, 2019)

3.2.2 BIODIGESTORES

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor anaeróbico), dentro del que se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales, desechos vegetales, entre otros), en determinada dilución de agua para que, a través de la fermentación anaerobia, se produzcan biogás y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

3.2.2.1 Tamaño y tipo de biodigestores

Dependiendo de la cantidad de desechos y su propósito estos pueden ser:

- a) Domésticos
- b) Industriales
- c) Pequeña escala

3.2.2.1.1 Biodigestores domésticos

Son sistemas prefabricados aquellos capaces de realizar un tratamiento primario de agua residual en beneficio del medio ambiente sin contaminar los mantos freáticos. En zonas que no cuentan con drenaje, un biodigestor autolimpiable funciona de forma segura y es muy económico, ya que ahorra costos de mantenimiento al ser autolimpiable. Su exclusiva formulación evita fisuras y filtraciones, su funcionamiento es autónomo y es de fácil instalación. El biodigestor autolimpiable permite sustituir de manera más eficiente el uso de fosas sépticas. En la ilustración 3, se muestra un biodigestor domestico autolimpiable que permite sustituir de manera más eficiente el uso de fosas sépticas.



Ilustración 3 - Sistemas domésticos

Fuente: (ROTOPLAS, 2021)

3.2.2.1.2 Biodigestores de pequeña escala

Existe una amplia variedad de biodigestores que con ingeniosos diseños producen biogás, éstos van desde los biodigestores rurales construidos con bolsas de polietileno hasta las macroplantas productoras que pueden abastecer a una comunidad completa. De los diseños aquí presentados es necesario destacar que los biodigestores instrumentados a pequeña escala son fabricados normalmente para procesos de investigación y proyección de macroplantas. Por el contrario, los biodigestores que se construyen para el abastecimiento de pequeñas familias carecen de instrumentación alguna, con lo cual la obtención de biogás es más un asunto de prueba y error que dé certidumbre de lo que ocurre con el proceso de metanogénesis. (Hernández Hernández, 2012)

IV. METODOLOGÍA

En la presente sección del documento se presentará a continuación la metodología definida para la presente investigación que se está llevando a cabo. Dentro de la misma se detallan el enfoque se contemplará en la investigación, además de las variables de investigación denotando el grado de incidencia sobre dicha investigación, la hipótesis, las herramientas y actividades requeridas para el desarrollo de la misma.

4.1 ENFOQUE

El enfoque de la investigación es un enfoque mixto, cuantitativo y cualitativo, por parte del enfoque cuantitativo comprende una serie de procesos que tiene como finalidad obtener resultados entre ellos un análisis numérico y estadístico de recolección de datos de la muestra para comprobar las hipótesis planteadas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

En cuanto el enfoque cualitativo se basa por sectores de temas en específicos de investigación, en el cual da claridad a preguntas de investigación e hipótesis que denotan la recolección de datos, los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante y después de la recolección y análisis de datos.

Posterior a las actividades antes mencionadas, se denotan cuáles son las preguntas de investigación más importantes, para luego darle un mayor grado de importancia y responderlas.

En la investigación se pretende responder a las preguntas previamente planteadas y conocer como es el comportamiento de las variables. El alcance de esta investigación es de tipo correlacional basado en que los estudios correlacionales asocian variables y buscan conocer el grado de relación existente entre ellas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan la variable dependiente y las variables independientes determinadas para llevar a cabo la investigación.

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente no se manipula, esta se mide para conocer el grado de afectación que presentan las variables independientes en ella. Para esta investigación se seleccionó la producción de Biogás como variable dependiente.

4.2.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes toman el rol de un factor que condiciona a la variable dependiente (Carpio). En la ilustración 4, se muestra la dependencia que presentar el biogás con respecto a las variables independientes, además del impacto que estos presenten sobre ella.

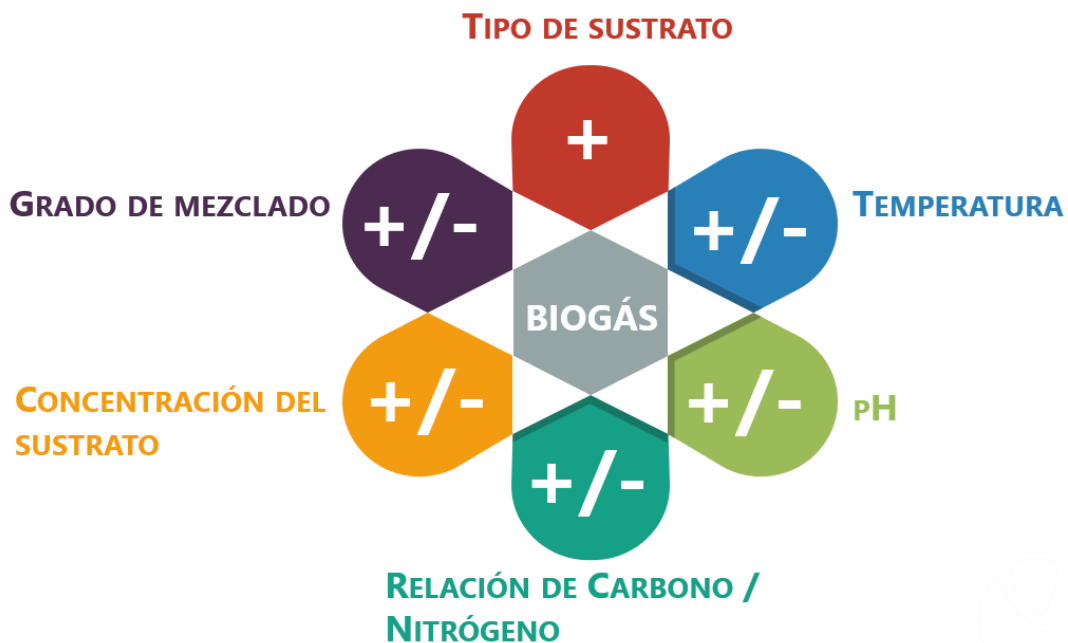


Ilustración 4 - Variables de investigación

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una breve descripción de las variables independientes presentadas en la ilustración previa.

4.2.2.1 Tipo de sustrato

En la mayoría de los casos las sustancias orgánicas como los son los estiércoles muestran de manera significativa los elementos proporcionados por la misma. Las sustancias con grado alto de lignina son directamente aprovechables, y por ende deben de ser sometidos a tratamientos

previos con el fin de liberar sustancias factibles para ser transformadas a incrustaciones de lignina.

4.2.2.2 *Temperatura del sustrato*

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70° C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas como se muestra en la tabla 7.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURAS	SENSIBILIDAD
PSICCROFÍLICAS	menos de 20°C	± 2°C/hora
MESOFÍLICAS	entre 20°C y 40°C	± 1°C/hora
TERMOFÍLICAS	más de 40°C	± 0,5°C/hora

Tabla 7 -Temperaturas de bacterias

Fuente: (porcino, 2017)

4.2.2.3 *Nivel de acidez (pH)*

El pH afecta las principales formas de nitrógeno, que son una parte importante de los procesos biológicos porque pueden inhibir la actividad microbiana. El pH tiene efecto sobre la digestión anaerobia de los BOM, encontrándose mejores condiciones, tanto de producción de metano como capacidad buffer.

4.2.2.4 *Relación de Carbono/Nitrógeno*

La relación de carbono/nitrógeno es una relación donde el contenido de carbono y de nitrógeno es una sustancia, los microorganismos concentrados en el suelo tienen una relación cercana a 8:1, una dieta que contenga una relación de 24:1, se considera una relación ideal, según (servicio, 2019), los materiales que se agreguen al suelo con una relación C:N mayor que 24:1, resultarán en un déficit temporal de nitrógeno (inmovilización), y aquellos con una relación C:N menor que 24:1 resultarían un superávit temporal de nitrógeno (mineralización).

4.2.2.5 *Concentración de Sustrato*

Con respecto a la concentración de sustrato, en la mayor parte se concuerda que no debe de ser muy alta, aproximadamente de un 8% en concentración de sólidos, pero afecta de manera

positiva a la producción de biogás, debido que a concentración de gas en una temperatura aproximadamente de 35° C mayor producción de gas.

4.2.2.6 Grado de mezclado

El grado de mezclado influye para alcanzar una mezcla gaseosa formada por metano y dióxido de carbono, también este define la cantidad de impurezas que pueda contener la misma.

4.3 HIPÓTESIS

La hipótesis de investigación está referenciadas a realizar un prototipo de biodigestor para la producción de biogás a partir de componentes orgánicos como lo son la gallinaza y el estiércol de vaca.

Hipótesis de investigación (H_i): El biogás producido a partir de la combinación de ambos componentes orgánicos dentro del biodigestor resulta contener una mayor cantidad de carbono/nitrógeno.

Hipótesis nula (H₀): El biogás producido por los componentes orgánicos por separado concentra una mayor relación de carbono/nitrógeno.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para el desarrollo de la presente investigación, se requiere aplicar técnicas para la recolección de datos para el sustento de la misma. El empleo de herramientas para dicha recolección y programas para el análisis y demostración de lo propuesto es requerido para lograr el objetivo general de la investigación.

4.4.1 TÉCNICAS

A continuación, se detallan las técnicas aplicadas para obtener la información requerida.

4.4.1.1 Revisión de literatura

Se obtuvo información para la elaboración del marco teórico de la investigación diversas revistas científicas y tesis de pre-grado y post-grado, además de buscadores académicos en internet, y datos de repositorios que contenían información afín al tema de investigación.

4.4.2 INSTRUMENTOS

Dentro de los instrumentos empleados se encuentran softwares para la obtención de algoritmos y programación, obtención de datos, simulación y análisis de datos.

4.4.2.1 *Matlab*

Matlab es un software que contiene librerías de bloque para una mejor comprensión del usuario al utilizarlo, para el proceso de diseño se expresa en modelos matemáticos, y matrices o arreglos en varias dimensiones.

Con lo antes mencionado, de permite iterar en distintos algoritmos para obtener resultados de una manera más eficiente.

4.4.2.1.1 *Simulink*

Simulink es una extensión de MATLAB que permite el diseño de modelos, que se implementaran para la simulación de los gases producidos por el biodigestor, y análisis de pH que más adelante se comparará con los datos de pH obtenidos de mediciones del prototipo.

4.4.2.1.2 *Microsoft Excel*

La herramienta de Excel es uno de los más usados para la elaboración de gráficas y análisis estadísticos, del cual se emplean para denotar los resultados obtenidos.

4.4.2.1.3 *ArcGIS Pro*

ArcGIS pro es un programa que proporcionar herramientas para realizar geolocalizaciones, visualizar, e inclusive analizar datos de entorno en 2D y 3D, con él se realizará la geolocalización de donde se llevará acabo la presente investigación.

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

La investigación se llevará a cabo en territorio hondureño, del cual se tomarán en cuanto datos de temperatura del lugar situado, ya que este incide significativamente en la producción de biogás.

4.5.1 POBLACIÓN

La población se tomará la población rural, que es donde se presenta mayor consumo de leña para ciertas tareas domésticas, de la población que usa biomasa, un 89.1% es rural, y se estima que de 1.1 millones de hogares que cocinan con biomasa. El 26% compran leña para dicho uso.

4.5.2 MUESTRA

La presente investigación se llevará a cabo en La Ceibita, Santa Bárbara, debido que muchas personas no cuentan con acceso a gas GLP y electricidad, además que los costos del gas no son tan accesibles para sectores de escasos recursos, el GLP consta de un precio aproximado de 13 USD con un tanque de 25 kg, y el consumo al igual que en la mayoría de sectores rurales es de un aproximado de 7.83 m³

4.6 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La metodología propuesta en la presente investigación consta de 6 etapas, que tiene como finalidad un proyecto de realizar un prototipo de un biodigestor para la captura de gas metano, con dicha finalidad se inicia con el análisis en la que se encuentra La Ceibita, Santa Barbara. Posterior a ello la elaboración del diseño y esquema de simulación del biodigestor, y medir la eficiencia de los métodos aplicados.

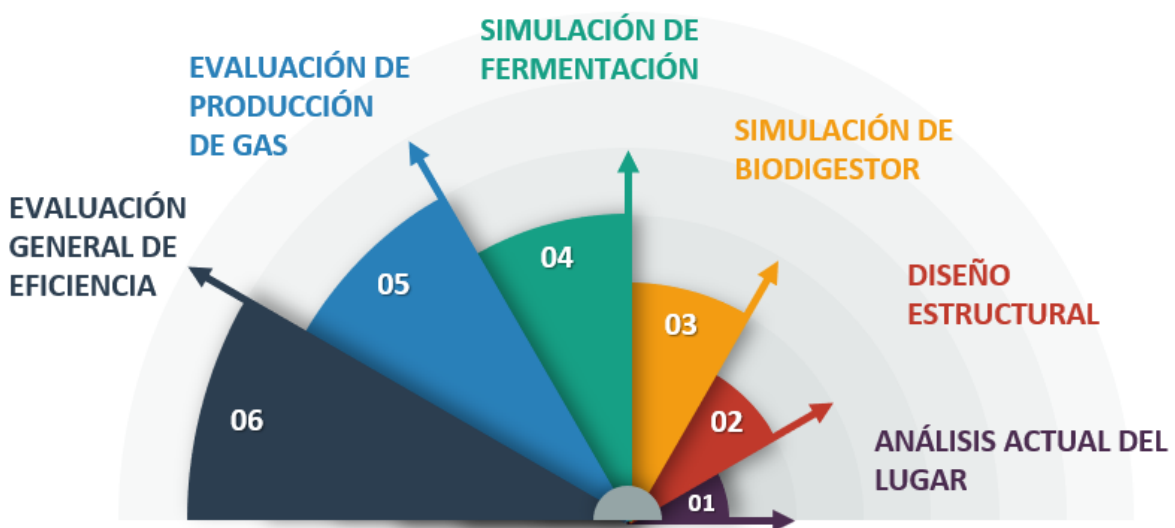


Ilustración 5 - Metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 5 se muestra la metodología, y la jerarquía de uno de los pasos que se llevarán a cabo para lograr el objetivo de la investigación del cual son:

4.6.1 PASO 1

Recolección de datos de la cantidad de hogares que carecen de gas metano en la Ceibita, donde se llevará a cabo el proyecto, para inicialmente estimar que familias se podrían ver beneficiadas, que sean aledañas a la granja avícola donde se realizarían las pruebas.

4.6.2 PASO 2

Se realizará un diseño de planos estructurales del biodigestor en AutoCAD, y el prototipo en 3D en SolidWorks para su implementación posterior.

En las ilustraciones 6 y 7 se muestra los diseños efectuados, y se denota el flujo continuo que presentaría el gas por el filtro para su uso posterior.

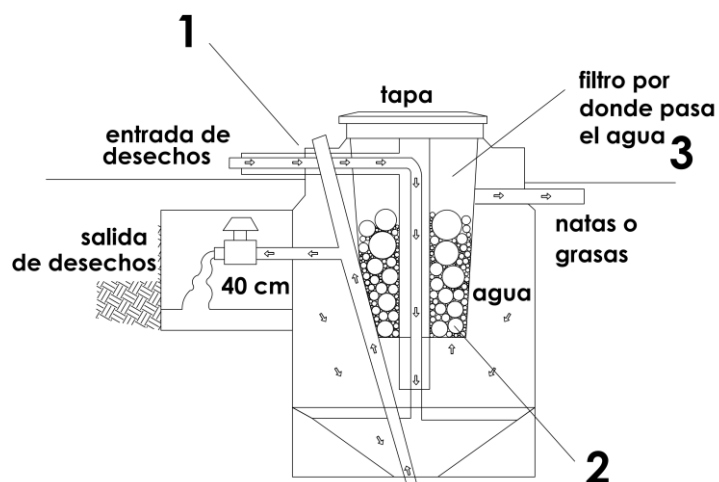


Ilustración 6 - Estructura de biodigestor

Fuente: Elaboración propia



Ilustración 7 - Diseño en 3D

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 PASO 3

En la ilustración 8, se muestra el diseño del biodigestor que contiene 50 litros debido que es, en el cual consiste en un sistema de reacción, de los componentes que se presentan en el biodigestor la masa que ingresa al sistema menos la masa que existe en el sistema dentro del biodigestor, es igual al total del componente que se estiman como parámetros de entrada, y con base a ello mostrar gráficamente el comportamiento de la concentración obtenida a partir de simulaciones.

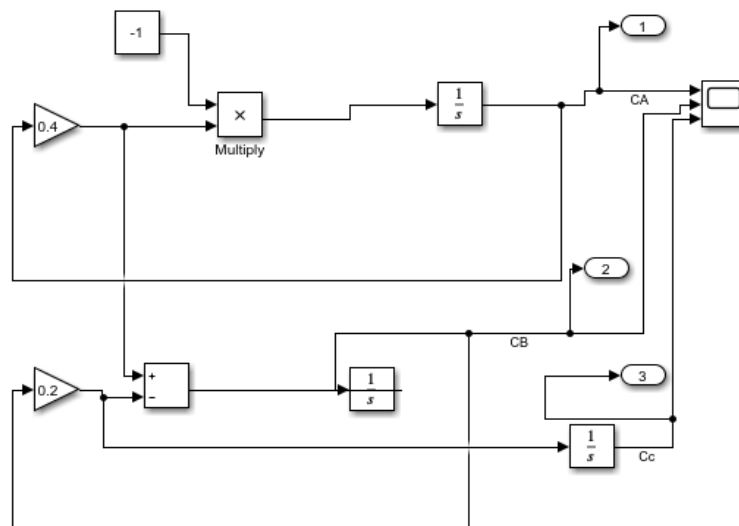


Ilustración 8 - Diseño en Matlab de Biodigestor

Fuente: Elaboración propia

4.6.4 PASO 4

Se realizará un modelo para la simulación de fermentación en ASPEN PLUS, para determinar los datos que se podrían obtener a partir del prototipo.

4.6.5 PASO 5

Se efectuarán recolección de datos para verificar la presión, y el pH obtenido de la misma, y determinar en qué rango se encuentra la relación de carbono/nitrógeno.

4.6.6 PASO 6

Denotar la fluctuación que se presentaron con respecto a los resultados obtenidos del prototipo en comparación de las simulaciones realizadas.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se muestra la cronología de las actividades realizadas.

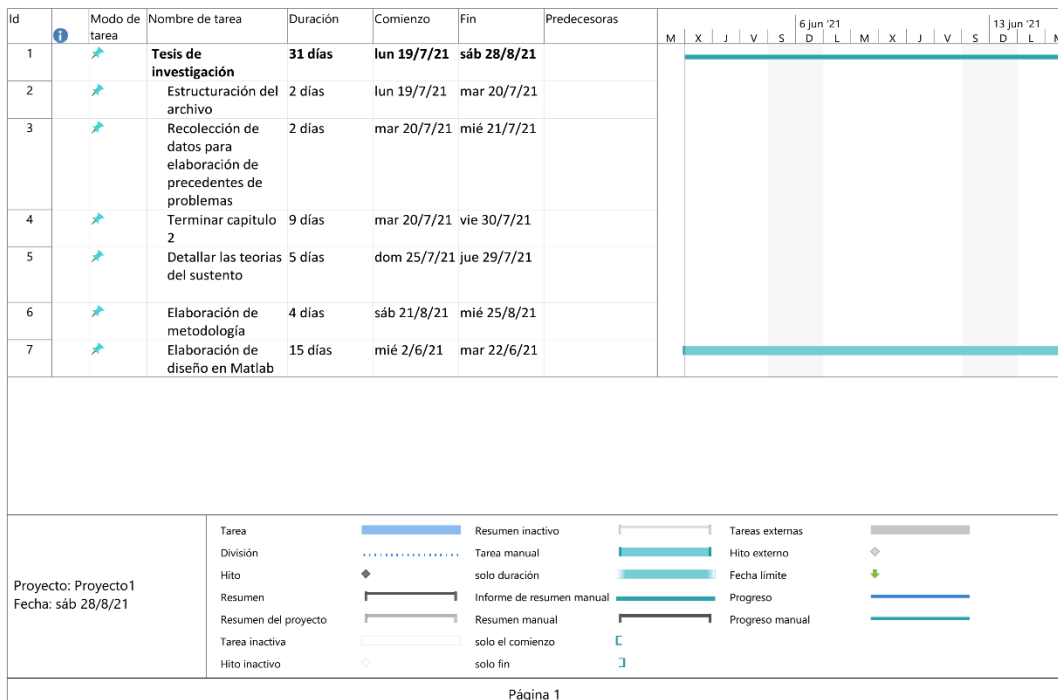


Ilustración 9 - Cronograma de actividades

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección del documento se detallan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizados en los programas antes descritos, además de los datos extraídos del prototipo realizado en físico, en él se muestra gráficamente el comportamiento de los datos extraídos en las distintas semanas que se llevó a cabo la investigación.

El prototipo se llevó a cabo en la comunidad de la Ceibita, Santa Bárbara, en la ilustración 10 se muestra la geolocalización de donde está situado la granja avícola Emmanuel, que fue donde se realizaron las pruebas correspondientes.



Ilustración 10 - Geolocalización de Ceibita, Santa Bárbara

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 11, se muestra el comportamiento de la temperatura en la zona de todo el año 2020, en él se denota que la temperatura más alta registrada fue de 37.83 °C, y una temperatura mínima de 15.94 °C, en promedio durante todo el año se registró un promedio de 29.41 °C, se toma en cuenta la temperatura, debido a que este afecta directamente proporcional a la temperatura interna del biodigestor, datos que más adelante se mostrara la tendencia que estos mostraron durante el tiempo de estudio.

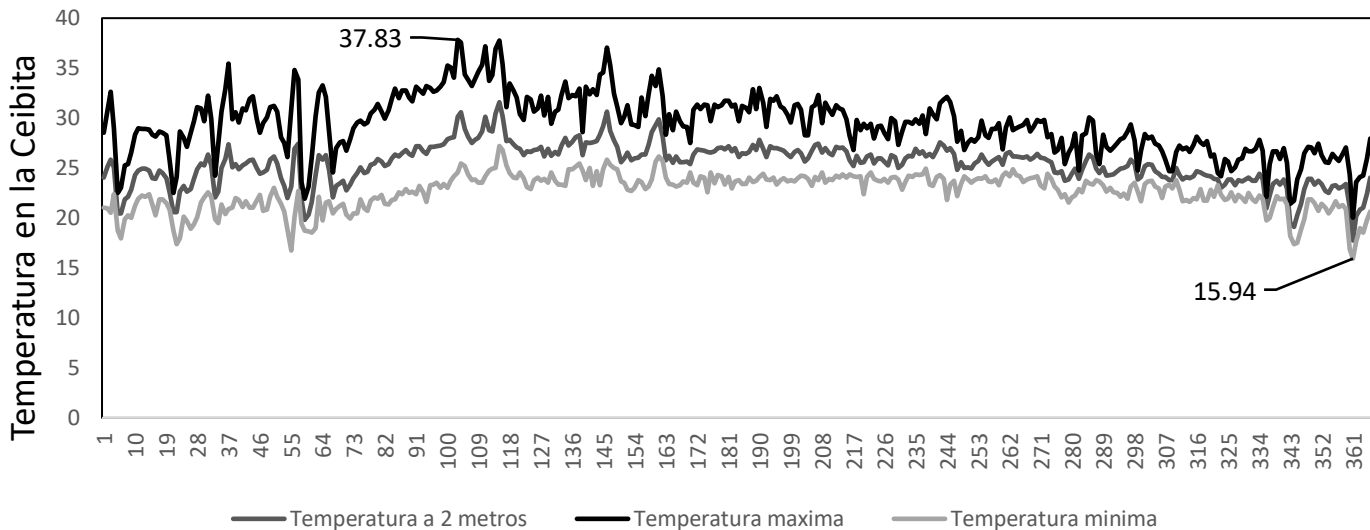


Ilustración 11 - Comportamiento de temperatura en granja avícola Emmanuel

Fuente: Elaboración propia

5.1 SIMULACIONES

En esta sección se muestran los resultados a partir de las simulaciones realizadas en Matlab, y Aspen.

En Matlab se muestra las salidas de las características fundamentales del biodigestor, y como este se comporta en función del tiempo. En Aspen se muestra la fermentación que se presenta para el tipo de biodigestor, que se propone para la presente investigación.

5.1.1 SIMULACIÓN EN MATLAB

En la gráfica de la ilustración 12, se muestra a continuación se denota el nivel de concentración de la materia en el biodigestor propuesto para la presente investigación, el nivel del concentración de ambos escenarios está en función del tiempo, y este denota como el tiempo afecta la concentración de cada uno de ellos, en la gráfica se observa una curva de reacción en serie típica, por lo que tenemos CA que está en su máximo cuando ingresa en el biodigestor y gradualmente disminuye hasta 0, en la concentración B se presenta que empieza en 0 al ingresar al biodigestor discontinuo, y luego llega a su punto más alto en 2.5, y el caso de la concentración C, aumenta gradualmente hasta 10.5.

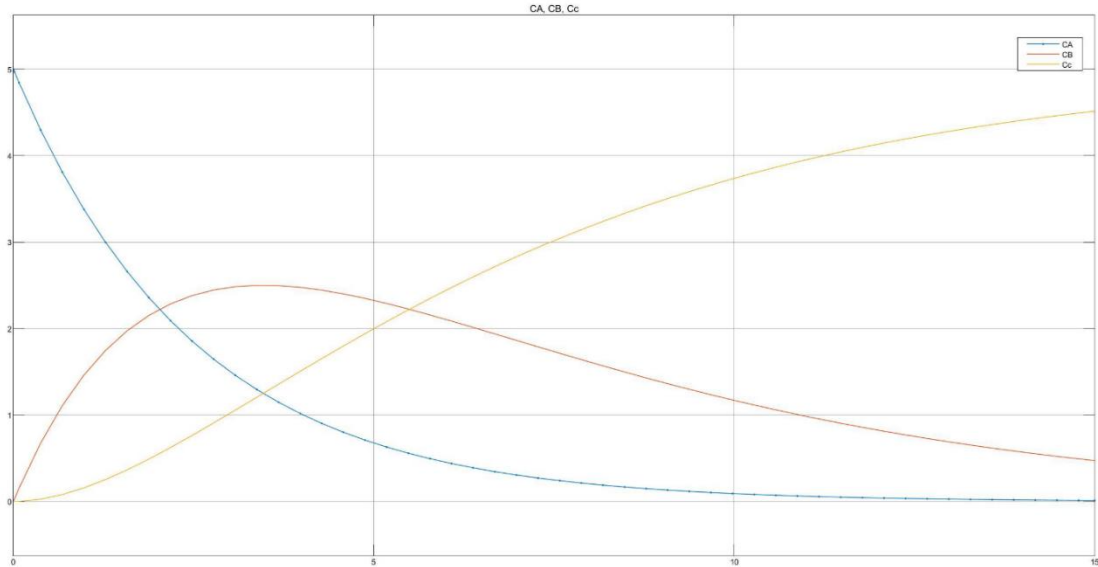
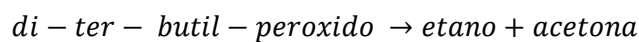
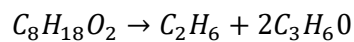


Ilustración 12 - Compuestos de biodigestor

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 SIMULACIÓN EN ASPEN

Con base a los parámetros descritos para el modelo propuesto en Matlab y como caso de estudio en la simulación en ASPEN se lleva a cabo una reacción elemental en fase gaseosa basada en la concentración de:



Ecuación 1 - Relación química

Fuente: Elaboración propia

Dicha reacción se pretende llevar a cabo en la simulación a 10 atmosferas [atm] de presión y una temperatura interna del biorreactor o biodigestor de 127 °C, y con un flujo de 5 mol/min, previamente definido para el modelo de MATLAB.

La reacción previamente definida pretende llegar a la conversión del 90% de un biorreactor batch. Los datos cinéticos conocidos para la presente reacción química son de una constante de 10^{-4} min^{-1} a una temperatura de 50 °C con una energía de activación de 85 kJ/mol.

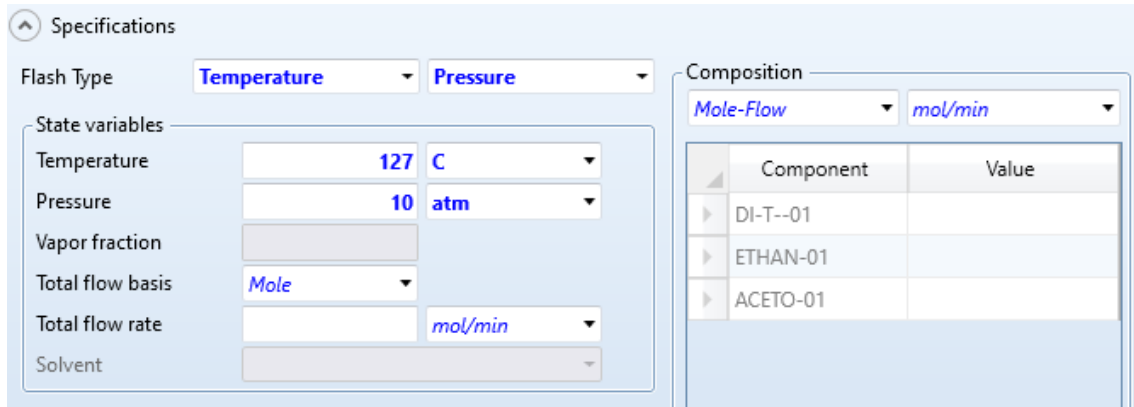
En las ilustraciones 13 y 14, se muestra las condiciones de operación que se presenta para la reacción gaseosa e isotérmica son:

$$T = 127 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P = 10 \text{ atm}$$

$$F = 5 \text{ moles/min}$$

$$X = 0.9$$

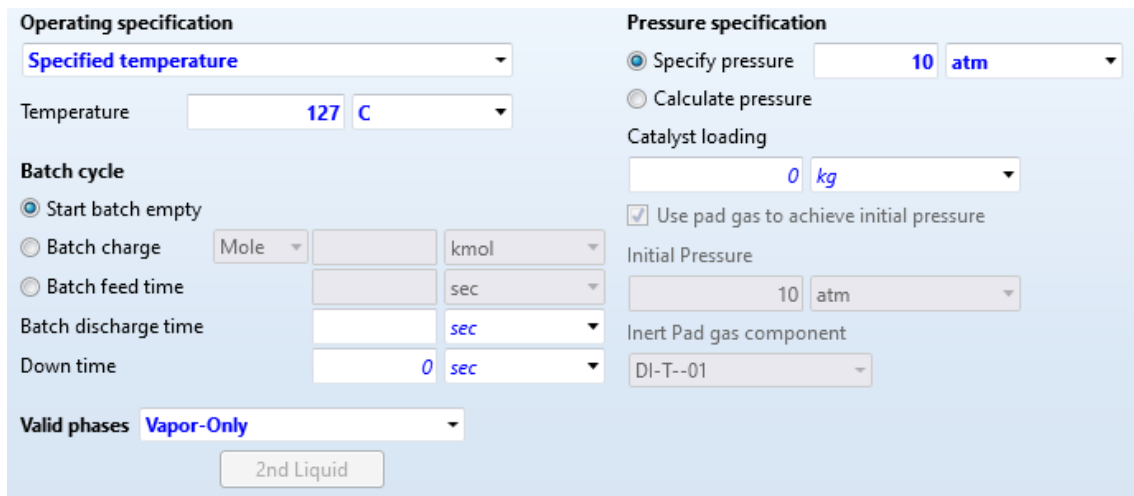


The screenshot shows the 'Specifications' dialog box in Aspen. The 'Flash Type' is set to 'Temperature' and 'Pressure'. Under 'State variables', 'Temperature' is 127 C and 'Pressure' is 10 atm. 'Total flow basis' is 'Mole' and 'Total flow rate' is 'mol/min'. The 'Composition' section shows a table with columns 'Component' and 'Value'. The components listed are DI-T--01, ETHAN-01, and ACETO-01.

Component	Value
DI-T--01	
ETHAN-01	
ACETO-01	

Ilustración 13 – Especificaciones generales en Aspen

Fuente: Elaboración propia



The screenshot shows two dialog boxes. The 'Operating specification' dialog has 'Specified temperature' selected, with 'Temperature' set to 127 C. Under 'Batch cycle', 'Start batch empty' is selected. 'Batch discharge time' is 0 sec. 'Valid phases' is 'Vapor-Only'. The 'Pressure specification' dialog has 'Specify pressure' selected, with 'Pressure' set to 10 atm. 'Catalyst loading' is 0 kg. 'Use pad gas to achieve initial pressure' is checked. 'Initial Pressure' is 10 atm. 'Inert Pad gas component' is DI-T--01.

Ilustración 14 - Especificaciones de operación en Aspen

Fuente: Elaboración propia

Donde:

T : Temperatura del bioreactor

P = La presión del bioreactor

$F = 5 \text{ moles/min}$

En la cinética elemental

$$r_A = kC_A$$

Donde:

$$k: 10^{-4} \text{min}^{-1} \text{ a } T_0 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$E = 85 \text{ kJ/mol}$$

Una vez definidas las variables anteriores, se denota el tipo de cinética aplicado en ASPEN PLUS.

Si k esta a $T \neq T_R$

$$-r_A = k_1 \exp \left[-\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right] C_A$$

Si k esta a $T = T_R$

$$-r_A = A_0 \exp \left[-\frac{E}{RT} \right] C_A C_B^2$$

Donde las unidades en ASPEN son:

$$k: 1.66667 \text{seg}^{-1}$$

$$E = 85 \text{ 000 kJ/kmol}$$

Para la obtención del factor pre-exponencial, se obtiene despejando la ecuación de Arrhenius.

$$k_A = A_0 \exp \left[-\frac{E}{RT} \right]$$

Luego de definir los coeficientes del biodigestor se elabora el biorreactor en ASPEN, a partir de lo antes descrito, en la ilustración ####, se muestra el diseño del biodigestor en ASPEN, a partir de un reactor,

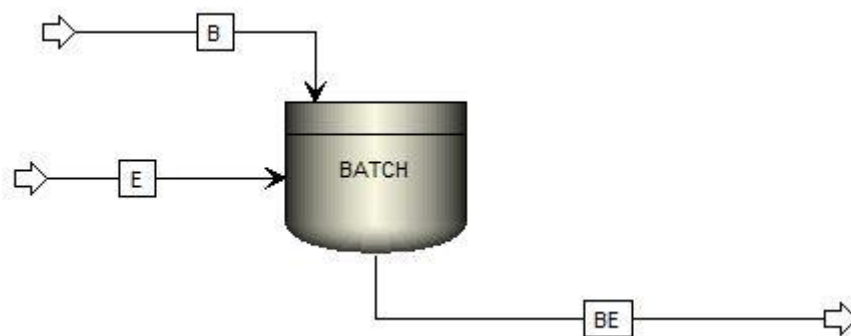


Ilustración 15 - Biodigestor discontinuo en ASPEN

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 16, se muestra la temperatura que se presenta en la reacción química, en ella se denota un incremento en la curva de temperatura, dicha temperatura empieza en 300 grados kelvin, y se estabiliza en aproximadamente 430 grados kelvin

En la gráfica de la ilustración 17, se muestra que de los compuestos que mayor se puede obtener a partir de la mezcla de materia orgánica es la acetona, mostrados gráficamente por la línea rosada.

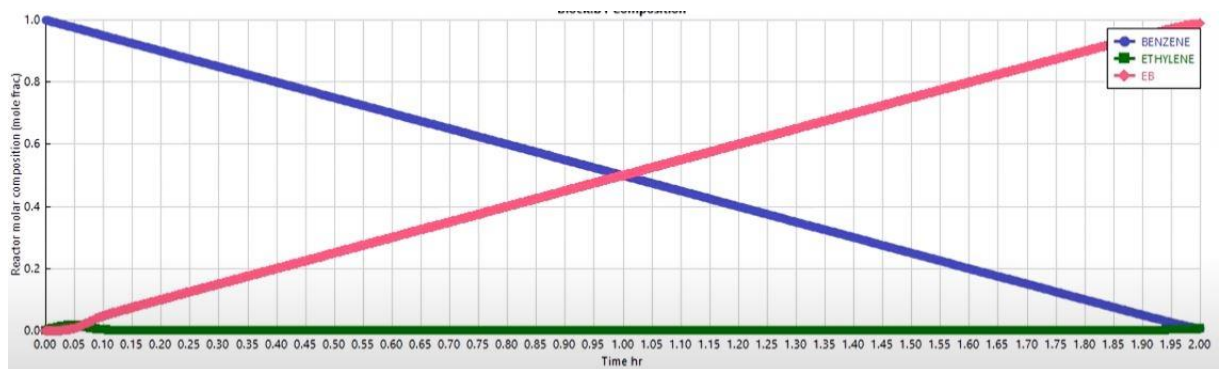


Ilustración 16 - Obtención de acetona de compuestos en ASPEN

Fuente: Elaboración propia

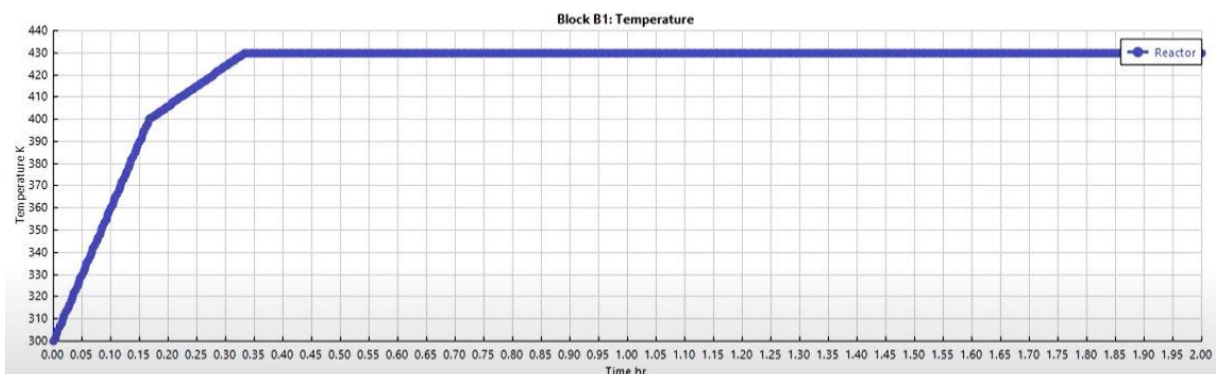


Ilustración 17 - Temperatura de compuestos en ASPEN7

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 8 y 9, se muestra las características generales extraídas se obtuvo que un porcentaje de humedad en el mismo rango en ambas materias orgánicas, sin embargo, hay una concentración de nitrógeno en la gallinaza que, en el estiércol de vaca, la gallinaza es 0.43% mayor que al estiércol de vaca, pero debido a la gran cantidad de carbono que presenta el estiércol de vaca, la relación de carbono/nitrógeno es mayor en el estiércol de vaca.

Gallinaza

Tipo	Humedad [%]	Nivel de nitrógeno [%]	pH	Carbono [%]	Nitrógeno [%]	Relación de carbono/nitrógeno
Fresca	70 - 80	3.1 – 3.3	9	19.75	3.15	6.26984127

Tabla 8 - Características de gallinaza

Fuente: Elaboración propia

Estiércol de Vaca

Tipo	Humedad [%]	Nivel de nitrógeno [%]	pH	Carbono [%]	Nitrógeno [%]	Relación de carbono/nitrógeno
Fresca	70 - 80	2.6 – 2.8	6.4	24.86	2.72	9.13970588235294

Tabla 9 - Características de estiércol de vaca

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la ilustración 18, se muestra el comportamiento del pH, en ella se denota una caída, que se presente desde su instalación, en las muestras se denota que en las primeras horas hubo una reducción significativa del pH debido a la temperatura, una vez la temperatura aumentaba en la materia orgánica, el pH disminuía, una vez se estabilizaba la temperatura el pH se estabilizaba también por correspondencia.

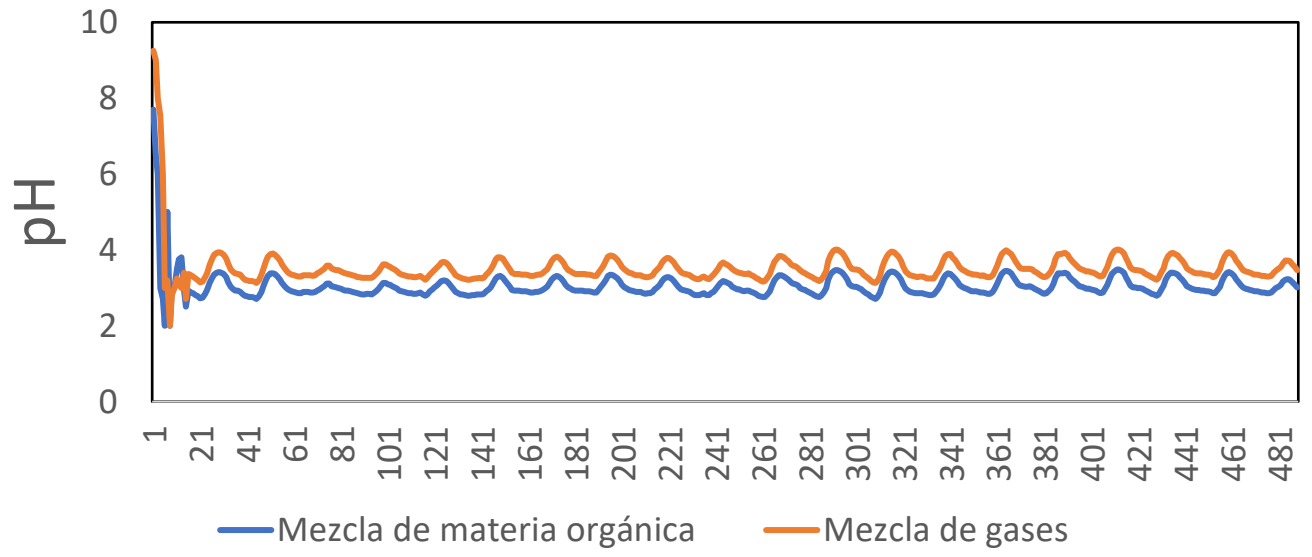


Ilustración 18 - pH

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

La presente investigación logro cumplir con el objetivo general de comparar las características generales de dos escenarios de biodigestor discontinuo, uno con la mezcla de gases y el otro con la mezcla de la materia orgánica en sí. En cuanto a los resultados obtenidos se determinó los siguiente:

- El porcentaje de nitrógeno en la gallina es 0.72 % mayor que el estiércol de vaca, pero debido a que el nivel de carbono del estiércol de vaca es mucho mayor que el de la gallinaza, la relación de nitrógeno/carbono es mayor en un 2.1 en el estiércol de vaca.
- El pH de las materias orgánicas cuando esta fresca presentó un nivel entre 7 – 10, al aumentar la temperatura el pH disminuye un aproximadamente un 22%
- La concentración que mayor entrega presento fue la de estiércol de vaca, por lo que lo que el escenario más eficiente fue en la que no se mezclaban los componentes orgánicos

VII. RECOMENDACIONES

Con base a las conclusiones obtenidos en la presente investigación, se presentan las siguientes recomendaciones:

- Con el uso de la materia orgánica, utilizar siempre materia fresca, y reducir el uso de gallinaza en los componentes, debido a que presente una relación significativamente menor de nitrógeno/carbono.
- Realizar las medidas de pH, y demás características generales de los compuestos con un microcontrolador, debido a que el uso de Arduino lo convierte más vulnerable a fallos por exposición a intemperie.
- Elaborar mediciones de obtención de acetona a partir de la mezcla de los gases de los componentes orgánicos, debido a que el escenario de la mezcla directa de la materia orgánica no es un escenario eficiente.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- (FAO), L. O. (2020). FAO. Obtenido de www.fao.org/3/t2363s/t2363s0x.htm
- (SAC), S. d. (2002). *Guía ambiental para el subsector porcícola*. Colombia.
- Botero R., P. T. (1987). Biodigestores de Bajos Costos para la Producción de Combustibles y Fertilizantes a partir de Excretas. *Manual Para su Instalación, Operación y Utilización*.
- Campestre, A. (2014). *Biodigestor de Agrícola Campestre ubicado en El Salvador*. Obtenido de <https://www.elsitioavicola.com/articles/2581/avacola-campestre-el-axito-se-debe-al-compromiso-de-su-gente-y-no-a-la-tecnologia/>
- Carpio, A. (s.f.). *Las Variables en la Investigacion*.
- CEPAL. (2016). *Centroamérica y Republica Dominicana: estadísticas de hidrocarburos*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42711/5/S1800208_es.pdf
- CEPAL. (2019). *Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en el Salvador*.
- Corrales, L. C., Antolínez Romero, D. M., & Bohórquez Macías, J. A. (2015). *Anaerobic bacteria: processes they perform and their contribution to life sustainability on the planet*. doi:ISSN 1794-2470
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Diamond, J. (2014). *How Societies Choose to Fail or Succeed*. Obtenido de <http://cpor.org/ce/Diamond%282005%29CollapseHowSocietiesChooseFailureSuccess.pdf>
- ENEE. (Abril de 2015). *enee.hn*. Obtenido de <http://www.enee.hn/index.php/component/content/article/156-periodistas/602-demanda-electrica-nacional#:~:text=El%20sector%20residencial%20es%20el,%25%20y%2022%25%20en%20Noroccidente>.
- Energía, S. d. (2018). *Balance energético: un panorama del actual sistema energético hondureño*.
- FHIA. (2015). *Mejorando el ambiente de la familia rural y conservando los recursos naturales*. Obtenido de <http://www.fhi/>

FHIA. (2015). *Mejorando el ambiente de la familia rural y conservando los recursos naturales*.

Flores , W. (2015). *El sector energético de Honduras*.

Flores, W. (2009). *El sector energético de Honduras: Diagnóstico y política energética*.

Hernández Hernández, H. A. (2012). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR INSTRUMENTADO ELECTRÓNICAMENTE PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN CASA HABITACIÓN*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO . Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/5289/1/TESIS.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta ed.). México D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores S.A. de C.V.

INE. (2013). *Datos de la Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC)*. Obtenido de <https://www.ine.gob.hn/V3/>

Oyuela Barahona, F. A. (2010). Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de *Jatropha curcas* L. (*CARRERA DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTE*). Zamorano.

Perez Medel, J. A. (2010). ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACION EN PEQUEÑOS GANADEROS Y LECHEROS. (*FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS*). UNIVERSIDAD DE CHILE, Santiago, Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf

PNUD/SECPLAN. (1993). *Plan Maestro de Energía, ENEE/ACDI*.

porcino, U. (Agosto de 2017). Obtenido de http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/instalaciones_porcinas_17-08-2017_factores_que_afectan_a_la_produccion_de_biogas.html

ROTOPLAS. (2021). Obtenido de <https://rotoplascentroamerica.com/>

Sáez, A., & Urdaneta G., J. A. (s.f.). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>

Secretaría de Energía, M. e. (1993). *Balance Nacional de Energía*.

SEMIP. (2000). *Balance Nacional de Energía*.

servicio, C. d. (2019). *Relación Carbono-Nitrógeno en los agroecosistemas*. Obtenido de <http://cultivosdeservicios.agro.uba.ar/relacion-carbono-nitrogeno-en-los-agroecosistemas/>

Zohrab, S. (2004). *Generación de energía y fertilizantes orgánicos a partir de residuos agrícolas*. Universidad del Estado de Nuevo México.

IX. ANEXOS

Anexo 1 - Biodigestores discontinuos



Anexo 2 - Sistema de control de características generales



Anexo 3 - Obtención de gallinaza



Anexo 4 - Jaulas de gallinas



Anexo 5 - Gallinas en jaula



Anexo 6 - Granja Avícola Emanuel

