



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE 3.8M<sup>3</sup> CON CAPACIDAD DE CARGA LIQUIDA QUE UTILIZA MATERIA PORCINA PARA LA GENERACIÓN DE GAS METANO DE USO DOMÉSTICO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de: **INGENIERA MECÁNICA**

**AUTOR: SHAMIRA SOLANGE CHAMORO PÁEZ**

**TUTOR: LUIS FERNANDO TOAPANTA RAMOS**

**QUITO- ECUADOR**

**2022**

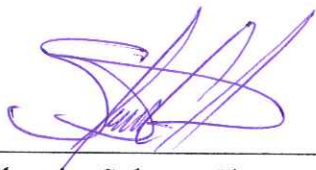
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Shamira Solange Chamoro Páez con documento de identificación N° 1003976154 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de julio del año 2022

Atentamente,



---

Shamira Solange Chamoro Páez  
1003976154

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Shamira Solange Chamoro Páez con documento de identificación N° 1003976154 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo de Titulación bajo la opción Propuestas Tecnológicas: “Diseño y simulación de un biodigestor de 3.8 m<sup>3</sup> con capacidad de carga líquida que utiliza materia porcina para la generación de gas metano de uso doméstico”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de julio del año 2022

Atentamente,



---

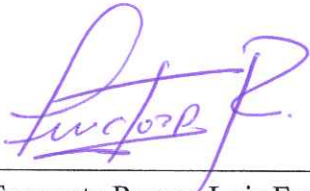
Shamira Solange Chamoro Páez  
1003976154

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Fernando Toapanta Ramos con documento de identificación N° 1721113759, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BIODIGESTOR DE 3.8 M<sup>3</sup> CON CAPACIDAD DE CARGA LÍQUIDA QUE UTILIZA MATERIA PORCINA PARA LA GENERACIÓN DE GAS METANO DE USO DOMÉSTICO, realizado por Shamira Solange Chamoro Páez con documento de identificación N° 1003976154 , obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de julio del año 2022

Atentamente,



Ing. Toapanta Ramos Luis Fernando, MSc.  
1721113759

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación va dedicado a Dios y a la virgen maría Inmaculada por darme salud, sabiduría y fuerzas para poder enfrentar los desafíos que se me han presentado en el transcurso de mi vida estudiantil, también quiero dedicar esta tesis a mis padres Bladimir y Sonia quienes fueron un pilar fundamental durante mi etapa de formación, con sus sabios consejos, por brindarme la fuerza necesaria para poder culminar mis estudios sin dejar nunca de inculcarme valores y principios morales.

*Shamira Solange Chamorro Páez*

## **AGRADECIMIENTO**

Mi mayor agradecimiento es a mis padres Bladimir y Sonia quienes, con su apoyo económico sus palabras de aliento y dedicación siempre estuvieron apoyándome en el trascurso de mi formación.

A mis docentes que durante mis años de formación supieron impartirme el conocimiento académico-profesional permitiéndome crecer como ser humano, a mis amigas/os que me han apoya en varias ocasiones.

Finalmente, a mi tutor el Ing. Fernando Toapanta quien me acompañó en el trayecto de mi trabajo de titulación que me guio con su conocimiento y apoyo en las interrogantes que surgían en el camino.

*Shamira Solange Chamorro Páez*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>Capítulo I. Estado del arte y generalidades de un biodigestor .....</b>	<b>4</b>
1.1 Aspectos teóricos de un biodigestor .....	4
1.2 Estado de arte .....	4
1.2.1 ¿Qué es un biodigestor? .....	6
1.2.2 Historia del biodigestor .....	7
1.2.3 Formación del metano .....	8
1.2.4 Origen del biogás .....	9
1.2.5 Componentes del biogás.....	10
1.2.6 Digestión anaeróbica .....	11
1.2.7 Proceso de biodegradación.....	11
1.2.8 Ventajas de utilización del biogás.....	12
1.2.9 Desventajas de la utilización del biogás.....	12
1.2.10 Proceso de producción del biogás .....	13
1.2.11 Generación de energía .....	14
1.2.12 Selección de tipo biomasa.....	14
1.2.13 Tipos de biodigestores.....	15
1.3 Conclusiones del capítulo .....	19
<b>Capítulo II. Propuesta de diseño de un biodigestor .....</b>	<b>20</b>
2.1 Diseño de un biodigestor .....	20
2.2 Proceso de construcción de un biodigestor .....	21
2.3 Materiales para la construcción de un biodigestor .....	23
2.3.1 Partes de un biodigestor .....	23
2.4 Energías renovables .....	24

2.5	Transferencia de calor	24
2.6	Principales parámetros de dimensionamiento	25
2.6.1	El volumen del biodigestor .....	33
2.6.2	Clima .....	33
2.7	Proceso de mezclado	33
2.8	Proceso de fermentación	34
2.9	Proceso de aseo del equipo	35
2.10	Conclusiones del capítulo	35
	Capítulo III. Cálculo para la simulación del biodigestor. ....	36
3.1	Cálculos de dimensionamiento de biogás	36
3.2	Datos generales del biodigestor	39
3.3	Cálculos de la temperatura promedio	39
3.4	Cálculo de la densidad	40
3.5	Cálculo de conductividad térmica	40
3.6	Cálculo de la viscosidad cinemática	41
3.7	Cálculo del número de Prandtl	41
3.8	Cálculo del calor específico	42
3.9	Cálculo del número de Rayleigh	43
3.10	Cálculo de coeficiente convectivo	44
3.11	Cálculo de la tasa de transferencia de calor	44
3.12	Cálculo de peso fango	45
3.13	Cálculo de viscosidad fango	45
3.14	Conclusiones del capítulo	45
	Capítulo IV. Simulación del biodigestor	47
4.1	Modelo multifacético	47
4.2	Modelo de evaporación y condensación	47



4.2.1	Modelo de Lee.....	48
4.3	Simulación	48
4.3.1	Simulación 3D.....	48
4.3.2	Simulación 2D.....	52
4.4	Análisis de resultados	54
4.5	Análisis Económico	59
4.6	Valor de fabricación e implementación	60
4.7	Conclusiones de capítulo	61
	CONCLUSIONES GENERALES	62
	RECOMENDACIONES GENERALES	63
	LISTA DE REFERENCIAS	64
	ANEXOS	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Biodigestores en el Ecuador</i> .....	5
<i>Figura 2. Modelo de un biodigestor</i> .....	7
<i>Figura 3. Origen del metano</i> .....	9
<i>Figura 4. Biodigestor de balón</i> .....	17
<i>Figura 5. Ejemplo de un biodigestor</i> .....	21
<i>Figura 6. Biodigestor de la finca El Rosal</i> .....	24
<i>Figura 7. Proceso de mezclado</i> .....	34
<i>Figura 8. Partes de la simulación de transferencia de calor</i> .....	49
<i>Figura 9. Mallado Body Sizing membrana</i> .....	50
<i>Figura 10. Mallado Body Sizing fluido</i> .....	50
<i>Figura 11. Mallado biodigestor</i> .....	51
<i>Figura 12. Número de nodos y elementos del mallado del biodigestor</i> .....	51
<i>Figura 13. Forma del biodigestor en 2d</i> .....	52
<i>Figura 14. Geometría del biodigestor en 2d</i> .....	52
<i>Figura 15. Mallado 2D</i> .....	53
<i>Figura 16. Número de elementos y nodos mallado 2D</i> .....	53
<i>Figura 17. Condiciones de frontera</i> .....	54
<i>Figura 18. Contorno de presión</i> .....	55
<i>Figura 19. Contorno de Temperatura</i> .....	55
<i>Figura 20. Acercamiento contorno temperatura</i> .....	56
<i>Figura 21. Contorno de velocidad</i> .....	57
<i>Figura 22. Acercamiento contorno de velocidad</i> .....	57
<i>Figura 23. Contorno de viscosidad</i> .....	58
<i>Figura 24. Contorno de densidad</i> .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Componentes del biogás.</i> .....	10
<i>Tabla 2. Componentes.</i> .....	18
<i>Tabla 3. Tiempo.</i> .....	22
<i>Tabla 4. Identificación de ecorregiones según temperatura ambiental.</i> .....	25
<i>Tabla 5. Producción de estiércol fresco</i> .....	26
<i>Tabla 6. Interpolación para tiempo de retención</i> .....	36
<i>Tabla 7. Animales que alimentan el biodigestor (Cerdos)</i> .....	37
<i>Tabla 8. Tabla de interpolación para la densidad.</i> .....	40
<i>Tabla 9. Tabla de interpolación para la conductividad térmica.</i> .....	40
<i>Tabla 10. Tabla de interpolación para la viscosidad cinemática.</i> .....	41
<i>Tabla 11. Tabla de interpolación para el número de Prandtl.</i> .....	42
<i>Tabla 12. Tabla de interpolación para el calor específico</i> .....	42
<i>Tabla 13. Costos de materiales a ser empleados.</i> .....	59
<i>Tabla 14. Costo de mano de obra.</i> .....	60
<i>Tabla 15. Costos de imprevistos.</i> .....	60
<i>Tabla 16. Inversión para implementación de biodigestor 6m x1m.</i> .....	60
<i>Tabla 17. Tiempo de recuperación de la inversión.</i> .....	61

## RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como objetivo diseñar y modelar un biodigestor de geomembrana que permite ingresar una mezcla de desechos sólidos de animales como ganado porcino entregándonos como resultado biogás que permitirá un ahorro en la Finca el Rosal. Las dimensiones son 1 m de diámetro y 6 metros de largo lo que nos da un área de  $4.71m^3$  que son las necesarias para cumplir con la meta de producción de biogás. Se detalla que los materiales a utilizar serán de geomembrana y tubería de PVC debido a que tienen una vida útil mayor que se adapta al objetivo de 10 años de funcionamiento del biodigestor. Para lo cual se realizó una simulación en el programa ANSYS FLUENT del biodigestor y su funcionamiento dadas las condiciones calculadas previamente, durante esta simulación se pudo demostrar que existe un cambio de fase que sucede a partir de la transferencia de calor por las diversas propiedades que tiene el metano como la presión, velocidad, temperatura, viscosidad y densidad. Con esta simulación en 2D se constató que el metano a una mayor temperatura produce un incremento de su presión, velocidad y viscosidad mientras que su densidad disminuye lo que nos da como resultado que se convierte en un gas que puede ser transportado hacia el lugar principal de la finca donde se le dará uso.

Finalmente se realizó un análisis de costos proyectado para una vida útil de 10 años dando como resultado que la inversión será recuperada en 3 años y 4 meses generando una ganancia total de lo que se genere en 6 años y 8 meses dando la confiabilidad a este proyecto.

**Palabras clave:** ANSYS FLUENT, biogás, simulación, 2D, transferencia de calor, biodigestor, costos, vida útil.

## ABSTRACT

The following project aims to design and mold a geomembrane biodigester that allows the entrance of a mixture of solid waste coming from animals such as pigs, giving us biogas as a result that will allow savings in Finca el Rosal. The dimensions are 1 m in diameter and 6 meters long, which gives us an area of  $4.71m^3$ , which is necessary to meet the biogas production goal. Itemizing the materials to be used, they will be a geomembrane and a PVC pipe, because they have a longer useful life that adapts to the objective of 10 years of operation of the biodigester.

For which a simulation was carried out in the ANSYS FLUENT program of the biodigester and its operation given the previously calculated conditions, during this simulation it was possible to demonstrate that there is a phase change that occurs from the heat transfer due to the various properties of methane such as pressure, speed, temperature, viscosity and density. With this 2D simulation, it was found that methane at a higher temperature produces an increase in its pressure, speed and viscosity while its density decreases, which as a result becomes a gas that can be transported to the main place of the farm where it will be used.

Finally, a projected cost analysis was carried out for a useful life of 10 years, resulting in the investment being recovered in 3 years 4 months, generating a total profit of what is generated in 6 years 8 months, giving reliability to this project.

**Keywords:** ANSYS FLUENT, biogas, simulation, 2D, heat transfer, biodigester, cost, useful life.

## INTRODUCCIÓN

En el libro de Martí [1] manifiesta que una de las principales características de un biodigestor es el suministro de energía, que trabaja con un depósito cerrado herméticamente donde es almacenado el desecho orgánico de origen animal, los cuales están compuestos de microorganismos que dan lugar al proceso de fermentación anaeróbica, que da como resultado la producción de energía.

Este tipo de máquinas ayudan a facilitar la obtención de energía y permite una mejora a gran escala del nivel de vida de una gran parte de comunidades rurales alrededor del mundo, mediante la utilización de este tipo de energía también pueden mejorar económicamente y darles un manejo idóneo a los desechos de los animales [1].

Un biodigestor esta armado de V partes importantes las cuales le dan sus características especiales los cuales son: la cámara de carga donde se almacena los desechos orgánicos, el contenedor que permite la descarga biológica que es el resultado del residuo generado por el biodigestor. El reactor que es un tanque alargado que se encuentra enterrado en la tierra donde se origina la desintegración y descomposición de los residuos vegetales y los residuos animales. La parte externa es hecha a base de polímero que imposibilita el ingreso de aire, lo cual permite controlar la evacuación de gas indeseado que se produce dentro del biodigestor. La tubería permite transportar el gas producido en el interior donde se controla este proceso mediante una válvula que tiene un protocolo de seguridad que evita la sobrecarga de presión en el interior, también permite expulsar el agua condensada [1].

El funcionamiento de un biodigestor se realiza mediante un sistema natural donde su digestión es anaeróbica como ya nombrada, en la cual los microorganismos que componen el estiércol se transforman en gas metano. En los diferentes usos que tiene el gas metano sobresalen el uso en cocinas domésticas, en la calefacción y de manera industrial en motores que producen energía eléctrica [2].

Entre los biodigestores más conocidos del mercado se tiene el de flujo discontinuo, el flujo semi continuo, el flujo continuo y familiar. Para saber cuál es el que se debe utilizar se tiene que manejar el uso que se le va a dar y el presupuesto con el que se cuenta.

Una de las características primordiales de los digestores es que mejora las características del saneamiento ambiental, lo que permite la reutilización y transformación de desechos, que como finalidad tiene ayudar a las personas que habitan las zonas rurales que por lo general para cocinar sus alimentos utilizan leña, con esta nueva manera de producir energía tendrán en sus casas un sistema ecológico que ayudarán a mejorar su estilo de vida y mantener el medio ambiente [2].

El problema de estudio se presenta debido a que un gran desabastecimiento de gas en el Ecuador, debido a las condiciones deplorables de carreteras y caminos, muchas familias de los sectores rurales no tienen la facilidad de acceder a este servicio, por lo que buscan alternativas para sustituir el mismo.

Esta problemática afecta mucho al sector industrial y a los sectores más pobres del país, se han buscado algunas alternativas, pero la mayoría de estas perjudican mucho al ambiente y crean una gran ola de contaminación.

En Imbabura se presenta un gran porcentaje de familias afectadas por la escasez de gas, pese a que las autoridades han incrementado estrategias para poder mejorar esta condición, sigue siendo un problema latente, además de esto el excesivo precio del gas doméstico de los distribuidores genera mucha molestia en la población.

El problema se presenta debido a la necesidad de abastecimiento de gas doméstico de los propietarios de la finca El Rosal, ya que poseen grandes inconvenientes con el subministro de gas doméstico, por motivo que el mismo no ingresa con facilidad al lugar ya que los caminos de esta zona son angostos y no se encuentran en buen estado, dificultando el acceso al mismo, el cual es de suma de gran importancia.

La problemática encontrada en los países tercermundistas reside en la frecuente escasez de combustibles y de la energía, afectando a los grupos más vulnerables, esta situación paso a formar parte de las prioridades para las autoridades, buscando nuevas estrategias para reducir este problema. Además de eso, la devastación de bosques y la tala de árboles perjudica muchísimo al avance de estas comunidades, los grupos vulnerables se han visto obligadas a migrar, habitar y cultivar novedosas superficies de las reservas ecológicas, los bosques y parques nacionales.

Actualmente en Ecuador el uso de gas GLP se convirtió en una herramienta decisiva para la subsistencia de las familias y de grupos vulnerables, puesto que esta herramienta está siendo

utilizada como medio para lograr la alimentación de sus familias, lo que ha incrementado y a convertido al gas en un producto de consumo masivo, obligando a las autoridades a buscar nuevas estrategias. Incrementando programas y proyectos incentivando al desarrollo sustentable.

Por otra parte, en la provincia de Imbabura en zonas de difícil acceso optan por otro tipo de soluciones, como por ejemplo los elementos derivados de la tala de árboles lo que ha generado mucha contaminación y daño al medio ambiente afectando en gran porcentaje a la flora y fauna, creando problemas de salud, entre otras.

La finca el Rosal se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura en el cantón de Cotacachi en la Zona rural de Intag, los propietarios poseen grandes inconvenientes con el subministro de gas doméstico, por motivo de que el mismo no ingresa con facilidad al lugar ya que los caminos de esta zona son angostos y no se encuentre en buen estado, dificultando el acceso al mismo. El presente trabajo busca diseñar y la simulación de un biodigestor de  $3.8 m^3$  que utilice materia porcina que permitirá a los propietarios de la finca “El Rosal”, dicho subministro es de gran importancia para los propietarios de la misma por motivo que ellos viven del turismo y la gastronomía de la zona y necesitan de gas para realizar el calentamiento de agua para la ducha en las viviendas y para realizar la cocción de los víveres. Para mejorar la calidad de vida de los propietarios y trabajadores de la finca y el servicio que brindan, ayudando de manera significativa con el turismo de la Zona y la reactivación del país.

### **Objetivo general:**

Diseñar y simular de un biodigestor de  $3.8m^3$  con capacidad de carga liquida que utiliza materia porcina para la generación de gas metano de uso doméstico

### **Objetivos específicos:**

- Seleccionar una alternativa más viable para la implementación de un biodigestor que produzca gas metano de uso doméstico.
- Diseñar el biodigestor de  $3.8m^3$  de capacidad para la generación de gas metano.
- Simular mediante software especializado el proceso de generación y transporte de gas metano.
- Evaluar la factibilidad económica del proyecto mediante indicadores financieros.



## **CAPÍTULO I**

### **ESTADO DE ARTE Y GENERALIDADES DE UN BIODIGESTOR**

En el presente capítulo tiene como propósito exponer los diferentes tipos de biodigestores con la utilización de desechos orgánicos, las ventajas y beneficios en comparación con otros tipos, se realizará una recopilación de información de otros trabajos de titulación relacionados con el uso de biodigestores y diseños de este tipo.

El objetivo de este capítulo es definir los conceptos fundamentales de los biodigestores, el proceso y la producción de gas metano, además de eso citar los beneficios que brinda este sistema.

#### **1.1 Aspectos teóricos de un biodigestor**

En el presente apartado se va a elaborar una investigación teórica de los conocimientos y conceptos más relevantes sobre dicho tema, para desarrollar el diseño y la simulación de un biodigestor con capacidad de carga líquida que utiliza materia porcina previamente seleccionada y aplicando el proceso de elaboración, para la fabricación de gas metano para uso doméstico.

#### **1.2 Estado de arte**

Narváez [3] dice que, en el Ecuador se han realizado proyectos para promover instrumentos que incentiven de manera sostenible el uso de biodigestores y las tecnologías de aprovechamiento de la biomasa, permitiendo la explotación al máximo el potencial de la misma en la producción porcina.

Martí [4] manifiesta que, los pequeños y medianos productores agrícolas se tropiezan con una situación de inseguridad, frente a los diversos desastres naturales y a las consecuencias que ocurren con el cambio climático, las fluctuaciones y cambios en el precio de los combustibles fósiles, en cambio en los productos agroquímicos. De este modo los pequeños y medianos productores se han visto obligados a fortalecer su sistema productivo, en este contexto los biodigestores son un instrumento de gran apoyo para su producción.

El Ecuador no ha tenido un impulso real sobre la implementación de biodigestores y este tipo de tecnologías, debido a dos factores muy importantes, uno de ellos es el subsidio de gas que existe en el país y por otro lado la red de Energía eléctrica.

En el Ecuador se encuentra un pequeño grupo de productores en el Ecuador que buscan la manera de implementar biodigestores, vinculando a enfoque agroecológico. Han existido experiencias exitosas en algunas provincias del Ecuador como Imbabura, Pichincha, Napo Azuay, y El Oro.

El territorio ecuatoriano cuenta con al menos tres proveedores de tecnología de biodigestores de geomembrana, y existen instaladores no profesionales, nuestros productores han tomado esto como una gran fortaleza para competir en este mercado [4].

El análisis que se realizó como resultado que entre Costa y Sierra existe alrededor de 231 mil pequeños y medianos productores porcícolas. De los cuales un 72 % presentan muchos problemas para acceder al gas doméstico debido a que la logística del sector donde se encuentran es de difícil acceso. Según el estudio se estima que el 100 % de las pequeños y medianos productores porcícolas tienen un gran potencial técnico en biodigestores. Tomando en cuenta estos valores es factible el desarrollo de programas y proyectos nacionales sobre la tecnología y los biodigestores.



**Figura 1.** Biodigestores en el Ecuador [4].

Se observan en el lado izquierdo un biodigestor de geomembrana adaptado en algunos países de América Latina, al lado derecho se observa un biodigestor implementado en el Ecuador [4].

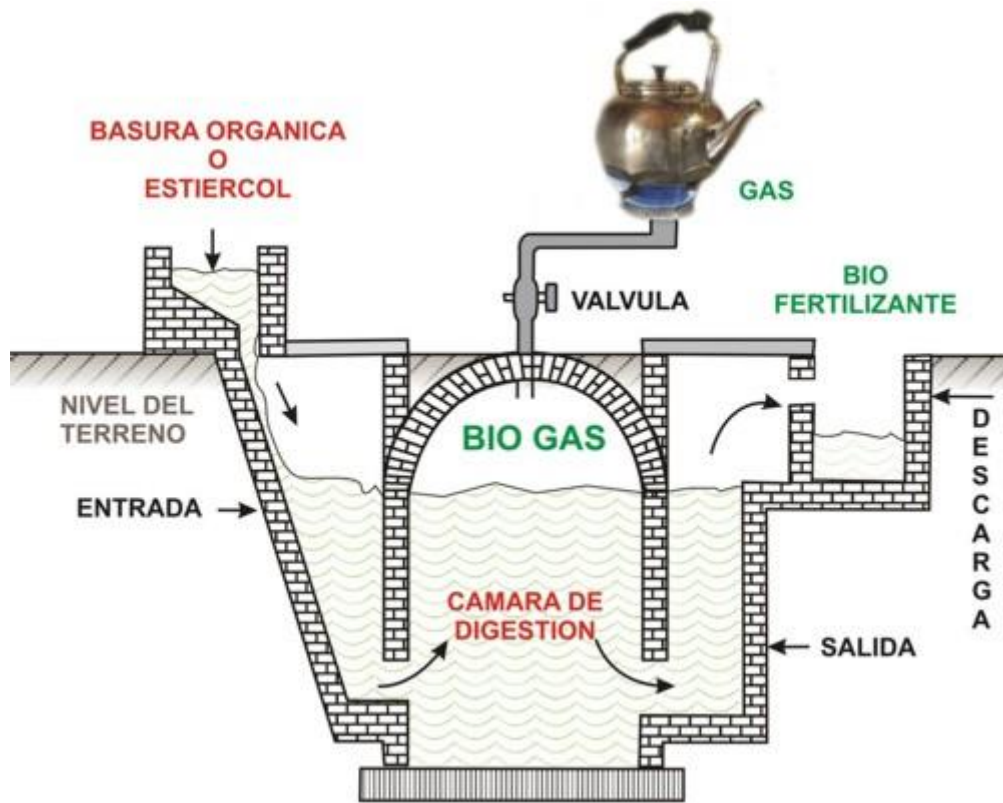
La nueva tendencia que están utilizando los pequeños y medianos productores se ha enfatizado en el ahorro de los costos de producción, tomando como una gran alternativa la producción de gas para uso doméstico. Hay que destacar que la inversión y la infraestructura es una fortaleza para los sectores de la costa y la sierra. Por eso han considerado aspectos prácticos como facilitar la recolección del estiércol para poder alimentar al biodigestor. Realizando una instalación adecuada para el desarrollo del biodigestor tomando como ejemplo el que los corrales tengan cubiertas y piso de cemento, que permita la carga fácil del biodigestor.

Actualmente nuestro país se ha visto muy presionado por aplicar tendencias que ayuden a la conservación del medio ambiente, una de estas tendencias es la utilización de la biomasa, transformándola en energía, gas doméstico, entre otros, el Ecuador ha descubierto un gran potencial en esta industria por lo que está desarrollando incentivos, haciendo atractiva la estrategia de implementar este tipo de herramientas, ayudando así al medio ambiente, a los pequeños y medianos productores [4].

### ***1.2.1 ¿Qué es un biodigestor?***

Elizondo [5] afirma que, los biodigestores son herramientas ecológicas o contenedores de preciso, hormigón, metal, polietileno y también natural desde desechos orgánicos, que son residuos de procedencia humana y animal, y restos vegetales.

En su artículo Sayas [6] dice que, los restos se degradan por medio de un desarrollo de desintegración convirtiendo en energía apta para el uso doméstico y en abono orgánico para facilitar la realización de las tareas del campo. Este avance tecnológico facilita el ahorro energético perfecto para las áreas con pocos habitantes o para los países que aún tienen sus vías en desarrollo. Estos biodigestores se usan con más grande continuidad para el trabajo con excrementos de ganado porcino y bovino, debido a que estos dos tipos desarrollan gas metano en un prominente porcentaje. Se puede utilizar para energía térmica o eléctrica.



**Figura 2.** Modelo de un biodigestor [7].

El proceso que se ejecuta permite transformar los desechos orgánicos y el estiércol en gas metano de uso doméstico, que puede utilizarse en la cocina, o en fertilizantes orgánicos, contribuyendo a la economía familiar y ayudar al medio ambiente [7].

### **1.2.2 Historia del biodigestor**

A inicios del año 1890 se ejecuta la creación del primer prototipo de biodigestor a grado histórico en la India, animando a la producción de bioabono y biogás, inspirados en la insuficiencia energética de los campesinos, empezaron a utilizarlo como calentador en el invierno, eran usados para familias aldeanas y funcionaba con estiércol y desechos vegetales [8].

El autor Wang [9] manifiesta que, en el año 1896 en la ciudad de Exeter, Inglaterra, los postes de iluminación pública funcionaban a base del gas que se recolectaba de los digestores que se descomponían en los lodos cloacales de la región.

Elizondo [5] señala que, en 1920 inicio la marcha de un genuino recipiente digestor en el país de Alemania del cual más adelante se realizó una propagación por todo el mundo. Después de

las guerras mundiales empiezan a propagarse en el continente europeo las famosas industrias fabricantes de gas alternativo, este combustible empezó a emplearse en varios vehículos como coches y tractores de ese período. El gas procedente de estas fábricas se empezó a utilizar en el desempeño de las mismas plantas productoras de biogás, en transportes públicos y en varias localidades e incluso se llegó a introducir en la red de gas público.

Wang [9] manifiesta que, durante el año 1930 el gobierno de China emprende producción de varios tipos de biodigestores que tiene como propósito ayudar a las personas de varios de sus sectores que se encontraban despoblados. Esto sucedió debido a que no debían arreglar un problema de energía eléctrica en realidad el problema era sanitario.

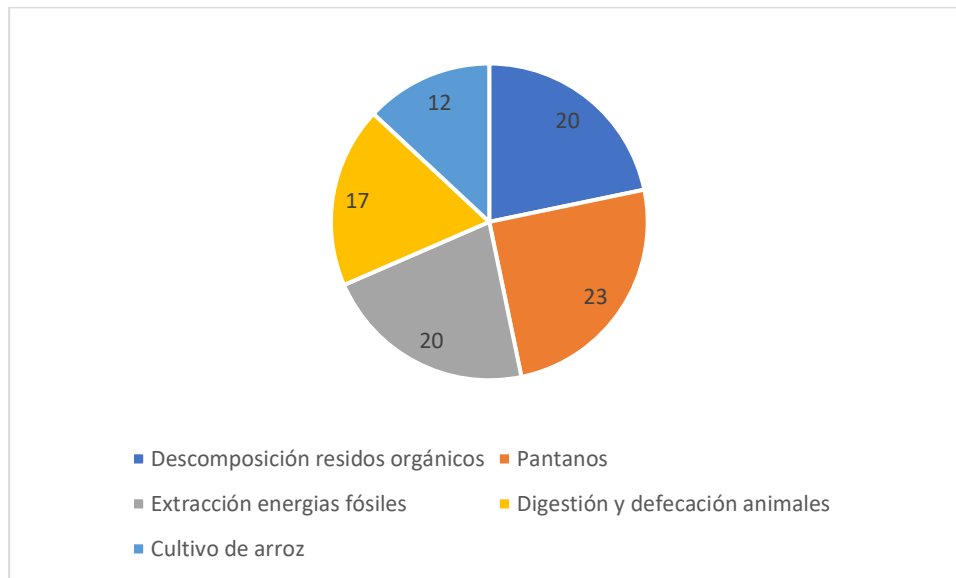
En su artículo Sayas [6] dice que, en el período de 1950, en algunos continentes como en Asia y principalmente en la India, se creaban nuevos modelos sencillos que constan de cámaras de fermentación conocidos como biodigestores, para la elaboración de bioabono y biogás. En algunos países como India, Sudáfrica, y China, gracias a la insuficiencia de elementos baratos, se aplicaron procedimientos y fueron creándose de tal forma que actualmente los países nombrados tienen un porcentaje alto en la utilización de biodigestores en la producción pecuaria. Además, desarrollaron estrategias de producción gaseosa de pequeña y enorme escala.

### ***1.2.3 Formación del metano***

Los siguientes componentes son parte fundamental del gas metano, la mayoría de estos se van implementando en el proceso de digestión de la masa con la que se va a trabajar.

El origen principal está compuesto por:

- Por la descomposición de diferentes residuos orgánicos. 28 %
- Energía que resulta de fuentes naturales como los pantanos 23 %
- Explotación de petróleo y combustibles fósiles 20 %
- Excrementos de distintos animales 17 %
- Bacterias que se producen en las plantaciones de arroz 12 % [10].



**Figura 3.**Origen del metano [11].

El 60 % de las emisiones en todo el mundo proceden de actividades agropecuarios y de diferentes actividades que desarrollan los seres humanos. La mayor fuente de metano se puede encontrar en los grandes campos de gas natural [11].

#### **1.2.4 Origen del biogás**

Para entender lo que es el biogás se debe saber que se habla de una fuente de energía renovable que resulta de la descomposición de tipo anaeróbica de los residuos orgánicos con los que se trabaja. Entonces el Servicio Holandés de Cooperación al Avance (SNV) maneja la definición de que un biogás es una energía renovable que resulta de la degradación de los desechos producidos por el ganado vacuno, con lo cual se maneja a gran escala este tipo de energía en las ganaderías ubicadas en sectores rurales en donde no tienen acceso a gas convencional. Las utilidades de esta alternativa de biogás se remontan a los años 60 cuando el precio de los barriles de petróleo aumento de manera radical, lo que hizo que las investigaciones realcen su búsqueda de alternativas nuevas para la producción de energía [12].

En ese entonces, cuando se utilizaban los reactores de alta carga que tenían la capacidad de mantener a los microorganismos anaeróbicos que también podían ayudar con el tratamiento de aguas servidas por medio de este método. Los primeros sectores en los cuales la producción de biogás tomo fuerza fueron los rurales debido a que ellos manejan gran cantidad de desechos orgánicos, como el estiércol de varios tipos de ganado. Así se aprovechan estos residuos

agrícolas con instalaciones de mediano tamaño que generan biogás que lo utilizan para cocinar o para la iluminación de sus instalaciones.

Para entender cómo se obtiene el biogás se debe saber que resulta del metabolismo de bacterias metanogénicas que son las encargadas de realizar la descomposición de los tejidos orgánicos que por lo general están húmedos y que no contienen oxígeno. Durante el tiempo que tome la descomposición de estos desechos se puede ir consiguiendo etanol, metanol y gas metano en proporciones no tan grandes, además la masa sobrante de este proceso es rica en minerales que por lo general es utilizado para abono de diferentes cultivos. Se debe tener en cuenta que para realizar el proceso de obtención de biogás hay que saber que intervienen muchas variables como por ejemplo el material utilizado, la temperatura que es primordial debido a que si la temperatura ambiente es muy baja no se producirá la descomposición y el tiempo para realizar el proceso será demasiado alto. El biogás es un combustible renovable que está conformado en una mayor proporción por metano y dióxido de carbono [12].

### 1.2.5 Componentes del biogás

A continuación, se aprecia detalladamente los componentes de biogás:

**Tabla 1.** Componentes del biogás [13].

Composición química del Biogás	
Componentes	Porcentajes
Gas metano (CH <sub>4</sub> )	54-70 %
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	27-45 %
Dinitrógeno (N <sub>2</sub> )	0.5-3 %
Dihidrógeno (H <sub>2</sub> )	1-10 %
Ácido Sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	0.1 %

El biogás es una mezcla formada por diferentes elementos, que se generan mediante el proceso biológico de biodigestión anaerobia [13].

### **1.2.6 Digestión anaeróbica**

Acosta [14] manifiesta que se conoce como digestión anaeróbica a la descomposición de microbios en producción de oxígeno que permite la combinación de gases como ya los mencionados y que se conoce como biogás y lo sobrante es una masa líquida.

La digestión anaerobia (DA) ocurre en 4 fases:

Empezando la fase I consiste en hidrolizar cada uno de los componentes más pesados, tanto los que se encuentran disueltos como los que no se encuentran disueltos, utilizando enzimas (entre otras cosas, proteasas y amilasas), en la primera fase se hidrolizan los polímeros y los lípidos, los ácidos nucleicos, las diversas proteínas y los polisacáridos, construyéndose los que corresponden a los monómeros y oligómeros, (compuestos aromáticos, azúcares, ácidos grasos, alcoholes, aminoácidos).

La tercera fase sucede cuando se llevan a cabo que las bacterias ácido génicas que transforman los monómeros y los oligómeros en ácidos grasos que son volátiles. Las bacterias acetogénicas es parte principal de la tercera parte que consiste en modificar los ácidos grasos volátiles en ácido acético para que de manera conjunta las bacterias sobrantes como las metanogénicas acetoclastas se transformen. Ahora en la última fase, se transforma en gas metano ( $CH^4$ ) y bióxido de carbono ( $CO^2$ ), en esta última fase se establecen partes, además las bacterias hidrogenotróficas, que mantienen la estabilidad del hidrógeno ( $H^2$ ) en el medio, utilizándolo para achicar el  $CO^2$  a  $CH^4$  [14] .

### **1.2.7 Proceso de biodegradación**

Para este proceso Mayor [15] menciona que: el reactor anaeróbico funciona como contenedor que se encuentra sellado de manera hermética donde va colocado el material orgánico como el estiércol y los diferentes desechos vegetales donde se debe tener en cuenta que no se pueden ubicar desechos cítricos porque estos hacen que se vuelvan ácidos que no permiten que se realice el proceso, una vez todo puesto en su lugar se agregan los litros de agua necesarios que irán produciendo gases y fertilizantes.

La producción va ocurriendo debido a que el estiércol está formado por varios microorganismos bacterianos que al trabajar en la masa orgánica produce la mezcla de los gases al cual se lo conoce como biogás. Una de las virtudes más grandes de este proceso es que la masa sobrante



se la puede usar casi al instante porque está ya no produce malos olores y es rica en nutrientes que pueden tener diversos usos como ya los mencionados anteriormente [15].

### ***1.2.8 Ventajas de utilización del biogás***

EL funcionamiento de un biodigestor ubicado adecuadamente en un lugar estratégico ayuda a mejorar gradualmente la forma de vivir de las personas que lo implementaran teniendo varios beneficios como los siguientes [16]:

- Es un combustible renovable
- La contaminación que este biogás produce al quemarse es menos contaminante que los combustibles fósiles.
- Esta dentro de los regímenes de la agencia de protección ambiental.
- No es necesario usarlo mezclado con otros tipos de combustibles.
- No contiene azufre en su estructura así que al quemarse no produce emanación de este elemento, la producción de humo se reduce en un porcentaje elevado.
- La combustión de biogás es segura.
- En caso de que este combustible tenga derrames en el medio ambiente es menos contaminante y nocivo para la flora y fauna local.
- La degradación de este combustible es más rápida que los combustibles comunes.
- Al trabajar con este tipo de combustible se puede prevenir enfermedades como cáncer.
- Es poco dañino para la piel.

### ***1.2.9 Desventajas de la utilización del biogás***

De igual manera como en todas las implementaciones tecnológicas que se realicen se corren riesgos y existen desventajas que pueden detener a adquirir esta maquinaria como las siguientes [16]:

- Se debe ubicar el biodigestor cercano a al lugar donde se produce la biomasa.
- Se debe mantener una temperatura superior a 30 °C lo cual sería difícil mantener en climas fríos.

- En ocasiones puede producir elementos que sean tóxicos y peligrosos.
- Si contiene  $SH^2$  disminuye la capacidad calorífica del biogás y este necesitara ser purificado.
- Se debe cumplir con las reglas específicas para trabajar con gases combustibles y que no ocurran accidentes como explosiones.
- Se necesita estar al pendiente ya que la carga de biomasa debe ser continua.
- Según el tipo de biodigestor, se necesita de bastante precaución más que nada cuando son contruidos con plásticos, debido a que éstos tienen la posibilidad de ser de forma sencilla rajados e inservibles.
- Dependiendo el modelo puede ser de un costo elevado teniendo en cuenta que su tiempo de duración será mayor
- Los biodigestores no son famosos lo cual dificulta que sean utilizados a mayor escala.
- Los costos para la obtención de un biodigestor anaeróbicos son elevados, debido a que están formados por un sistema interno poco común y además necesitan sistemas que calienten a la temperatura necesaria para realizar el proceso de obtención del biogás.
- Una vez instalado los costos de mantenimiento y operación no son elevados, pero deben ser trabajados por personas preparadas para que no pierdan su capacidad y no se produzcan daños.

### ***1.2.10 Proceso de producción del biogás***

Para ir desarrollando la producción de este combustible se deben cumplir con estas etapas:

- Trabajo con los residuos
- Digestión de tipo anaeróbica.
- Almacenado y filtración en sus diferentes etapas de biogás.
- Compostaje

### ***1.2.11 Generación de energía***

Colino [17] menciona que, es muy importante realizar la preparación de los residuos orgánicos antes de ingresar al reactor porque así brindara las condiciones necesarias para poder trabajar. Según el tipo de reactor con el que se trabaje el nivel de pre régimen ira variando. El propósito de estas operaciones previas es que al momento de ingresar los residuos estos estén en su mayoría homogéneos con las condiciones fisicoquímicas necesarias para desarrollar el proceso sin elementos impropios que puedan afectar al biodigestor.

Entonces la forma de preparar los residuos que ingresaran al reactor se lo podría hacer por pretratamientos en los cuales se reduce a lo mínimo posible el tamaño de las partículas de estiércol, regular el pH e incluso adecuar a la temperatura necesaria para trabajarlos. Se debe tener en cuenta que en ocasiones se da una fermentación espontanea en los residuos lo cual afecta a la calidad del biogás.,

Para que el proceso realizado por una planta de digestión anaeróbica sea la adecuado se debe asegurar que el suministro de materia prima debe ser constante y precisa tanto en tiempo como en calidad con las características de homogeneidad en sus partículas para que el resultado sea un biogás de desempeño óptimo [17].

### ***1.2.12 Selección de tipo biomasa***

La biomasa es el uso de los desechos orgánicos para transformarlos como fuente de energía. Por la gran definición, la biomasa comprende un extenso grupo de residuos orgánicos que se destaca por la heterogeneidad, tanto por su la naturaleza y por el origen de estos [18].

La biomasa puede considerarse como los residuos orgánicos originados en un desarrollo biológico, espontáneo o causado, disponible como una gran base de energía que es renovable. Desde que empezó la vida en la tierra como la conocemos, la manera más habitual de usar la energía proveniente de la biomasa es a través de una combustión directa es decir quemándola en llamaradas en el medio ambiente, cocinas artesanales, en hornos de gas, cambiándola a calor para reemplazar las pretensiones de calefacción, fermentación de comestibles y producción de electricidad.

La utilización de la biomasa no solo contribuye como un gran provecho para la producción energética, sino que su transformación se torna muy beneficiosa y que se requiere en gran cantidad para este ámbito.

Es un método eficiente de supresión de materia orgánica y de reducción de las grandes cantidades de basura, debido a que cuando se transforman ellos mismos en energía para usar en su fabricación. Las diversas fuentes y materiales que se manejan en fincas para la fabricación de esta energía suelen ser renovables [18].

Los restos de la industria forestal:

- Excremento de animales.
- Los varios residuos de las ciudades
- Los residuos de la acuicultura.
- Desechos agrícolas.

### ***1.2.13 Tipos de biodigestores***

Para desarrollar energía mediante biogás y biodigestores se debe tomar en cuenta que dependen en gran parte de los dispositivos electrónicos que intervengan en el proceso. De esta manera conocer los tipos ayudara a escoger cual es adecuado para cada caso.

#### **- Biodigestores de flujo pistón**

Santis [19] manifiesta que, este tipo de reactores tiene como característica especial que está formada por la cámara de digestión alargada, donde los residuos necesitan de más tiempo para degradarse mientras se van transportando por el digestor.

Se clasifica en:

- **Modelo horizontal:** que tienen en sus extremos la cámara de carga y descarga. Está diseñado de manera para que el efluente no se mezcle con la carga inicial. De esta manera este biodigestor es usado para tratamientos prolongados, como los restos de animales que son sacrificados.
- **Modelo horizontal de bajo precio:** está compuesto de bolsas de gran tamaño de polietileno tubular que tienen una vida útil de 4 a 6 años. Este tipo de reactores tienen la capacidad de

conseguir una concentración media en su interior que será mayor al de salida, por esta razón el tiempo de retención es más bajo.

#### - **Biodigestores de mezcla completa**

De acuerdo con Santis [19] en este tipo de biodigestores la característica principal es que necesita que constantemente se le cargue de manera periódica, que realiza una mezcla con el contenido que existe ya en el biodigestor. Esta mezcla hace que parte del material ingresado se dirija hasta la salida sin ser degradado de manera completa y hay dos tipos:

- El modelo chino: básicamente se trata de una estructura a base de cemento que tendrá más o menos un ciclo de vida de 15 años. El biodigestor está compuesto con dos tipos de cámara una de carga y una de descarga que también necesita la implementación de un gasómetro que controlara el gas generado.
- El modelo indio está formado por una clase de campana que realizara el trabajo de un elevador de subir y bajar dependiendo del volumen que genere. La mayor ventaja de este biodigestor es que no necesitara gasómetro por que el gas se mantiene prácticamente constante en su interior.

#### - **Biodigestores discontinuos**

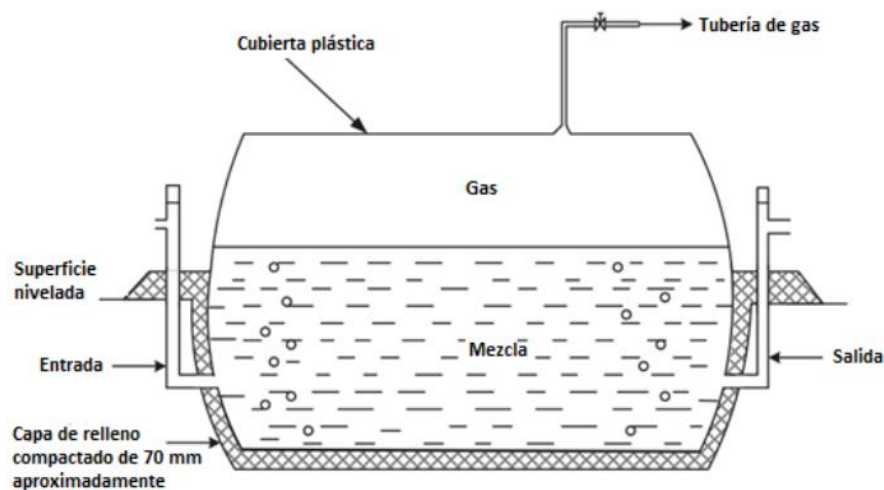
Son contenedores sin aberturas por el cual pasa el proceso de biodegradación de la biomasa no acaba hasta que todo el biogás posible sea producido, una de las ventajas de este tipo de biodigestor es que necesita muy poca agua para contener una gran carga de material por lo tanto se utiliza para trabajar con material muy sólido como el del ganado vacuno [19].

#### - **Biodigestores de geomembrana**

Saavedra [20] dice que, los biodigestores de geomembrana son muy fáciles de usar y armar, su estructura básica está conformada de una gran bolsa de geomembrana donde se realiza el proceso de los activos orgánicos de las granjas o fincas en las cuales se implementa, por lo general estiércol animal, aunque también se pueden procesar residuos o partes sobrantes de peladoras de pollos, residuos de camales, letrinas y residuos en general.

Los residuos orgánicos con los cuales se trabaja al pasar unas semanas se convierten en abono rico para la agricultura y en gas de combustión que se lo puede utilizar en la casa para la cocina convencional o para un generador eléctrico.

Para la construcción de un biodigestor de geomembrana se utiliza polietileno de alta densidad que tienen espesores de 1,5mm que ayudan a impermeabilizar el reservorio donde estará almacenada la materia orgánica. Se utiliza este tipo de polímeros debido a que tiene características especiales como una gran elasticidad y flexibilidad que permite que se infle al momento de la obtención del biogás sin tener mayor problema, resistencia al punzonamiento que disminuye el riesgo de roturas, además de que tiene resistencia y protección UV que le otorga una vida útil larga, por estas características es que la geomembrana es muy utilizada para la producción de biodigestores de este tipo.



**Figura 4.**Biodigestor de balón [20].

Básicamente es una bomba cilíndrica aproximadamente de 3.3 m de largo y 1.5 de diámetro. Su proceso consiste en que la parte de arriba se infle a cuando el biogás transcurre por ella [20].

### **Ventajas de un biodigestor de geomembrana**

En biodigestor de geomembrana es de los biodigestores más utilizados debido a que se acomoda a casi todas las superficies de una manera muy fácil a parte se tienen varias ventajas como las siguientes:

- Reduce los olores entre un 90 % y 100 %.
- Ayuda a prevenir en un alto porcentaje la contaminación de agua y suelos.
- Ayuda a evitar la tala desmedida de arboles
- Sus residuos se utilizan como fertilizante de suelo
- La producción de humo es nula y ayuda a que no afecte a la capa de ozono.

- No produce una proliferación de insectos.
- Bajo costo de instalación y compra.

### Componentes de un biodigestor de geomembrana

A continuación, se aprecia detalladamente los componentes de un biodigestor de geomembrana:

**Tabla 2.** Componentes [20].

<b>Componentes</b>	<b>Descripción</b>	<b>Decisión</b>
<b>Reactor</b>	El reactor es una bombona a base de polímero donde ingresarán los desechos que va a realizar el proceso de transformación. Está formado por polietileno de alta densidad.	Si
<b>Tuberías</b>	Son de PVC y se encargan de la conducción del combustible producido que se dirige desde el reactor hasta la cocina o el elemento que use el gas.	Si
<b>Invernadero</b>	Es una carpa a base de plástico que ayuda a resguardar al reactor de daños que pueden ocasionar los rayos UV. El invernadero debe estar colocado de manera obligatoria en sectores en los cuales el clima es frío.	No
<b>Válvulas</b>	Están ubicadas en lugares específicos del biodigestor, siendo la más importante la válvula de seguridad porque es la que va a ayudar a controlar que la presión este constante cuando el gas producido no sea usado en su totalidad.  Las válvulas son imprescindibles deben estar ubicadas en los sectores de transporte de biogás	Si
<b>Manómetro</b>	Ayuda a conocer cuál es el porcentaje de producción de biogás	Si
<b>Reservorio</b>	Es el lugar donde se va a guardar toda la producción de biogás y está ubicado cerca al lugar donde se le dará uso al biogás.	Si

Esta tabla se refiere a los componentes de un biodigestor tubular o geomembrana [20].

### **1.3 Conclusiones del capítulo**

En el capítulo 1 se concluye que, el uso de los biodigestores es muy importantes, en la actualidad estos ayudan a conservar el medio ambiente y como son recursos renovables pueden ser utilizados de forma indefinida. Sin embargo, deben ser utilizados de manera consciente para no afectar a la flora y fauna de este sector.

La selección de la biomasa y el clima son partes fundamentales a la hora del funcionamiento de un biodigestor, teniendo en cuenta que si la temperatura ambiente es muy baja los desechos no se degradan, por ende, no se realiza el proceso de digestión, la solución a esta problemática sería utilizar un invernadero que generaría más gastos, pero permitiría la producción de biogás.



## CAPÍTULO II

### PROPUESTA DE DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

En el capítulo uno se puntualizaron los conceptos de un biodigestor de carga líquida, los componentes, el proceso de biodegradación, ventajas y desventajas de esta herramienta. Consecuentemente en el capítulo dos se desarrollará un enfoque analítico del proceso de diseño un biodigestor que tiene como fin la producción de gas a base de estiércol para el uso doméstico.

#### 2.1 Diseño de un biodigestor

El biodigestor para diseñar es de geomembrana, se utiliza polietileno de alta densidad, con espesores entre 1.0 a 1.5mm, con el objetivo de impermeabilizar el reservorio, donde esta almacenada la materia orgánica. Se escogió este tipo de biodigestor debido a la resistencia al punzonamiento, resistencia a todas las condiciones climáticas, y su alta flexibilidad.

El biodigestor consta de 5 partes esenciales:

- La cámara de carga: es el lugar donde se depositan los desechos orgánicos que se van a procesar.
- El reactor: es el tanque alargado que se encuentra situado bajo la tierra y es ahí donde se descompone la materia orgánica.
- El contenedor: este permite la descarga biológica que se obtiene como resultado de los residuos del biodigestor, el cual es usado como un fertilizante para el suelo.
- La parte externa y el interior de la cámara: son de plástico esto imposibilita el paso del aire, lo cual ayuda a controlar la salida indeseada de gas.
- La tubería: esta permite transportar el gas producido en el interior, para controlar este proceso se implementó una válvula de seguridad, esta herramienta evita la sobrecarga de presión dentro del interior, otra de las funciones que cumple este instrumento es expulsar el agua cuando se condensa.

Un punto a favor para este tipo de biodigestor es la resistencia al punzonamiento, este disminuye el riesgo de roturas, otro punto a favor es la flexibilidad que este posee, permitiendo que la cubierta se infle a medida que se va generando el biogás.

La resistencia y la protección a los rayos ultravioletas le brinda una larga vida útil a este tipo de herramientas, además permite evitar los olores en un 90 % a 100 % [21].

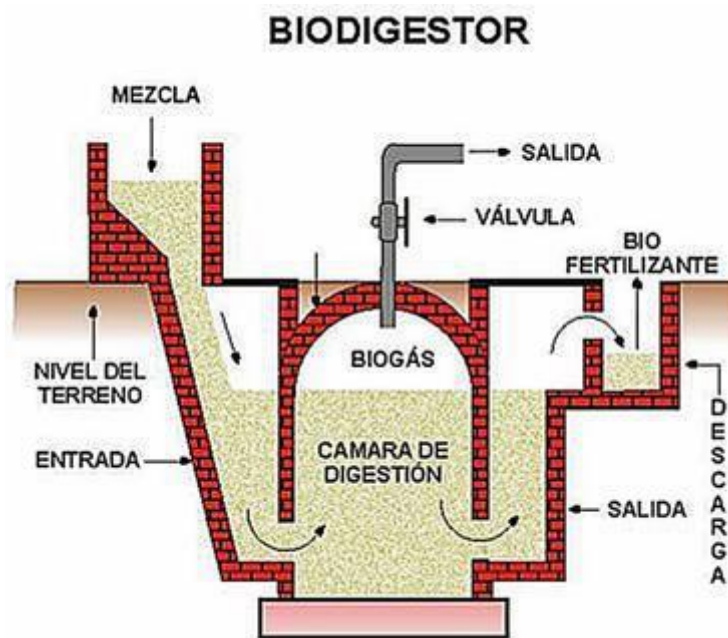


Figura 5. Ejemplo de un biodigestor [21].

El biodigestor tiene un funcionamiento sencillo, para manejar estas herramientas se debe controlar los parámetros, como por ejemplo el pH, temperatura y presión para alcanzar el máximo rendimiento [21].

## 2.2 Proceso de construcción de un biodigestor

Estos biodigestores tienen su diseño en base a la ubicación y tipo de ganado que será la materia prima, en especial en la temperatura con la cual se va a trabajar.

El diseño de un biodigestor permite procesar todo el excremento obtenido en una finca de distintas aves, vacas o cerdos.

Para la construcción de un biodigestor de geomembrana se debe tomar en consideración que los materiales y componentes deben ser resistentes a la abstracción interna que será producida en el proceso de descomposición. En caso de que se llegara a producir una fractura generaría un grado alto de contaminación del área de trabajo o de la fuente de agua más cercana.

Es importante la temperatura en la cual va a desarrollar el biodigestor que indicara exactamente el tiempo de detención en el cual las diferentes bacterias y los microorganismos deberán procesar la materia orgánica. A una temperatura promedio de 30 °C se necesitarán unos 5 días de retención, en 20 °C será de 10 días y a 10 °C se necesitará de 55 días, por esta razón la superficie de la cámara varia con respecto al clima del sitio de instalación.

**Tabla 3.** Tiempo de retención.

<b>Región</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo de retención (Días)</b>
<b>Característica</b>		
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

La humedad debe estar en un 80 % a 88 %, cantidades menores de agua cortan el proceso de hidrolisis. Se debe tomar en cuenta que en varias ocasiones las necesidades de energía son menores al potencial que posee una granja.

La calidad del efluente dice que mayor relación de carbono/nitrógeno, esto permitirá una mayor cantidad de producción de biogás, utilizar productos antibióticos o químicos, destruyen la flora bacteriana que posee el biodigestor.

La elaboración de un biodigestor de acuerdo con el campo de utilización oscila entre los 110\$ en clima trópico y los 170 \$ en las zonas altas, es importante saber que la altura es una característica fundamental para el funcionamiento de esta herramienta [3].

## **2.3 Materiales para la construcción de un biodigestor**

El excremento de los animales tiene un poderoso potencial, que dándole el uso adecuado se puede usar como material sólido. Existen varios factores que influyen en los nutrientes y la cantidad de estiércol que se puede producir. Entre ellos se puede destacar:

- Alimentación: la dieta que se le suministra a las especies es muy importante, depende mucho el tipo de ganado como el destino del animal.
- Tipo de ganado: es muy relevante la cantidad de comida como los nutrientes que estarán presentes en su alimentación.
- Duración y almacenado: este proceso es muy significativo y necesario para no perder los nutrientes del estiércol. El estiércol desde el momento en que es producido hasta el momento de ser utilizado puede sufrir una serie de pérdidas en los nutrientes.
- Condiciones ambientales: los factores a considerar son la adición del agua bien sea de la lluvia o la de limpieza [2].

### **2.3.1 Partes de un biodigestor**

Las partes de un biodigestor son:

- Tanque de digestión: Está formado por la cúpula y la cámara de fermentación, la materia orgánica permanece cierto tiempo en la cámara de fermentación anaerobia, este proceso se lo conoce como tiempo de retención, aquí se realiza la liberación del biogás. La forma del tanque es redonda, la capacidad se da por el volumen de materia orgánica que va a degradarse. En la cúpula se almacena el gas, un punto importante es que el volumen dependerá netamente de la cámara de fermentación.
- Laguna de compensación: en este instrumento de almacena la materia orgánica que esta fermentada, conjuntamente la capacidad de la laguna depende del volumen que tenga un biodigestor. Existen varios tipos como por ejemplo rectangular, circular, cuadrada y la construcción se realizó encima de la cúpula o a su vez a lado del tanque.
- Registro de carga: depende del diseño que tenga el biodigestor, por este medio se ingresa la materia orgánica fermentada, aquí se realiza la mezcla con el agua en porciones iguales dejando de manera homogénea la carga [11].



**Figura 6.**Biodigestor de la finca El Rosal [6].

El biodigestor es un contenedor cerrado, donde se almacena la materia orgánica que va a descomponerse. La utilización de este tipo de herramientas ayuda a disminuir la contaminación, además se ayuda a mejorar el saneamiento ambiental [6].

## **2.4 Energías renovables**

Este tipo de energías como la energía solar suele trasladarse por el medio ambiente como por ejemplo la radiación electromagnética, entonces de manera parcial esta energía se transporta hasta la atmosfera donde será absorbida por el suelo y la atmosfera donde será reflejada de forma directa al espacio desde la superficie terrestre. Al terminar este proceso la energía que toca el suelo podría generar más energía utilizando la mitad de la radiación solar [22].

## **2.5 Transferencia de calor**

Está atada a la razón de cambio de calor entre cuerpos de alta temperatura y cuerpos de baja temperatura que son conocidos como fuente y receptor, para que este proceso suceda debe haber un intercambio de entropía para que en algún momento todo el sistema esté en equilibrio, la transferencia de calor trabaja a través de 3 diferentes mecanismos [22].

### **- Conducción**

La conducción es un mecanismo que se desarrolla mediante la transmisión de energía calórica al sostener un contacto directo entre dos superficies diferentes que se encuentran a distinta

temperatura. Este proceso sucede al acoplamiento o choque de las diferentes moléculas que se encuentran en el sistema. [22].

- **Convección**

Este mecanismo trabaja mediante la transmisión de energía calórica que sucede por el movimiento físico que sucede entre moléculas a una elevada temperatura que va desde el punto de mayor calor al de menor calor, lo que termina con una recirculación molecular interna [22].

- **Radiación**

Para este mecanismo se desarrolla transfiriendo energía calórica mediante radiación electromagnética, estas radiaciones salen de los cuerpos que se encuentran a una determinada temperatura, que se van propagando en forma de ondas que serán absorbidas por un cuerpo externo, que terminara por aumentar su temperatura [22].

**2.6 Principales parámetros de dimensionamiento**

Para dimensionar el biodigestor que cumpla con las necesidades requerida es adecuado realizar cálculos previos de dimensionamiento de la producción de biogás estimada, para lo cual se procede a verificar los siguientes parámetros.

**Identificación de ecorregiones según temperatura ambiental**

La finca El Rosal se encuentra ubicada en la zona de Intag esta zona tiene una tempera ambiente promedio de 22.5 °C y se encuentra a una altura 1490msnm, por lo indicado en la tabla 4 se trata de una región tropical.

**Tabla 4.** Identificación de correiones según temperatura ambiental.

<b>Región</b>	<b>Temperatura Ambiente</b>	<b>Temperatura de trabajo</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar</b>
Altiplano	-12 °C a 20 °C	6-10 °C	2900-4500
		(Con invernadero)	
Valle	5 a 30	15 a 20 °C	1800-2900
Trópico	13 a 38°C	25-30 °C	0-1800

### Volumen de producción de estiércol fresco

Para la obtención del volumen de estiércol generado por día en la finca El Rosal se empleará a información que proporciona la tabla 5.

Tabla 5. Producción de estiércol fresco

Ganado	kg de estiércol fresco producido por cada 100kg de peso del animal
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0.4 kg por adulto
Humano niño	0.2 kg por niño

### Volumen liquido del biodigestor

Para la obtención de volumen liquido del biodigestor se debe tomar en cuenta la duma de kilos de materia orgánica excretada y la cantidad de agua que ingresa para realizar la mezcla, para luego ser multiplicado por el tiempo de retención en días.

$$V_d = [kg(excreta) + kg(agua)] Tr \quad (1)$$

Donde:

$V_d$ : Volumen liquido del biodigestor, [ $m^3$ ].

$T_r$ : Tiempo de retención o llamado el tiempo donde las bacterias degradan la materia orgánica.

### Volumen de un biodigestor gaseoso:

La obtención de gas depende de la tercera parte del volumen de líquido generado.

$$V_g = \frac{V_{dl}}{3} \quad (2)$$

Donde:

$V_g$ : Volumen gaseoso del biodigestor, [ $m^3$ ].

#### **Volumen total de un biodigestor:**

Se obtiene mediante la suma del volumen líquido y el volumen de gas generado según el tiempo de retención de este.

$$V_t = V_{dl} + V_g \quad (3)$$

Donde:

$V_d$ : Volumen total de un biodigestor, [ $m^3$ ].

$V_{dl}$ : Volumen líquido del biodigestor, [ $m^3$ ].

$V_g$ : Volumen gaseoso del biodigestor, [ $m^3$ ].

#### **Volumen de un cilindro y esfera:**

Estas dos ecuaciones emplearan para obtener las dimensiones finales de la cámara del biodigestor que permitan abastecer la capacidad total de los cálculos generados.

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot l \quad (4)$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \quad (5)$$

Donde:

$V_c$ : Volumen del cilindro, [ $m^3$ ].

$V_e$ : Volumen de la esfera, [ $m^3$ ].

$\pi$ : Número Pi.



$r$ : Radio de la cámara del biodigestor, [m].

$l$ : Largo de la cámara del biodigestor, [m].

### **Volumen de la cámara del biodigestor:**

Una vez empleadas la ecuación 4 y 5 se realiza una suma entre las dos para la obtención del volumen final del biodigestor.

$$V_b = V_c + V_e \quad (6)$$

$V_b$ : Volumen cámara de biodigestor, [ $m^3$ ].

$V_c$ : Volumen del cilindro, [ $m^3$ ].

$V_e$ : Volumen de la esfera, [ $m^3$ ].

### **Cálculo de temperatura promedio**

Para este cálculo se lo realiza tomando en cuenta a temperatura del medio (aire) y la temperatura de la superficie (suelo) donde se encuentra ubicado el biodigestor.

$$T_b = \frac{T_i + T_s}{2} \quad (7)$$

Donde:

$T_b$ : Temperatura promedio, [ $^{\circ}C$ ].

$T_i$ : Temperatura del aire, [ $^{\circ}C$ ].

$T_e$ : Temperatura de la superficie, [ $^{\circ}C$ ].

### **Densidad**

Para obtener la densidad se realizará una interpolación entre las temperaturas y densidades de 20  $^{\circ}C$  y 25  $^{\circ}C$  con el propósito de obtener la densidad a una temperatura promedio de 22.5  $^{\circ}C$ . Estos valores serán obtenidos de la tabla del Anexo 1.

$$\rho = \rho_{20^{\circ}C} + \left[ \frac{(\rho_{25^{\circ}C} - \rho_{20^{\circ}C})}{(T_{25^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C})} \cdot (T_{22.5^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C}) \right] \quad (8)$$

Donde:

$\rho$ : Densidad [ $kg/m^3$ ]

T: Temperatura [ $^{\circ}C$ ]

### **Conductividad térmica**

Para obtener la conductividad térmica se realizará una interpolación entre las temperaturas y las conductividades térmicas a  $20^{\circ}C$  y  $25^{\circ}C$  con el propósito de obtener la densidad a una temperatura promedio de  $22.5^{\circ}C$ . Estos valores serán obtenidos de la tabla del Anexo 1.

$$k = k_{20^{\circ}C} + \left[ \frac{(k_{25^{\circ}C} - k_{20^{\circ}C})}{(T_{25^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C})} \cdot (T_{22.5^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C}) \right] \quad (9)$$

Donde:

$k$ : Conductividad térmica, [ $W/m \cdot ^{\circ}C$ ].

T: Temperatura, [ $^{\circ}C$ ].

### **Viscosidad cinemática**

Para obtener la viscosidad cinemática se realizará una interpolación entre las temperaturas y las viscosidades cinemáticas a  $20^{\circ}C$  y  $25^{\circ}C$  con el propósito de obtener la densidad a una temperatura promedio de  $22.5^{\circ}C$ . Estos valores serán obtenidos de la tabla del Anexo 1.

$$v = v_{20^{\circ}C} + \left[ \frac{(v_{25^{\circ}C} - v_{20^{\circ}C})}{(T_{25^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C})} \cdot (T_{22.5^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C}) \right] \quad (10)$$

Donde:

$v_m$ : Viscosidad cinemática metano, [ $kg/m \cdot s$ ].

T: Temperatura, [ $^{\circ}C$ ].

### **Número de Prandtl**

Para la obtención del número de Prandtl se realizará una interpolación con los datos que indica la tabla del Anexo 1, entre los valores de las temperaturas de  $20^{\circ}C$  y  $25^{\circ}C$  para obtener datos para el número de Prandtl a una temperatura promedio de  $22.5^{\circ}C$ .

$$Pr = Pr_{20^{\circ}C} + \left[ \frac{(Pr_{25^{\circ}C} - Pr_{20^{\circ}C})}{(T_{25^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C})} \cdot (T_{22.5^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C}) \right] \quad (11)$$

Donde:

$Pr$ : Número de Prandtl.

$T$ : Temperatura de ingreso, [ $^{\circ}C$ ].

### **Calor específico:**

Para obtener el resultado de calor específico a una temperatura promedio de  $22.5^{\circ}C$  es necesario realizar una interpolación entre temperaturas y calor específico de los valores dados en la tabla del Anexo 1 para las temperaturas de  $20^{\circ}C$  y  $225^{\circ}C$ .

$$C_p = C_{p_{20^{\circ}C}} + \left[ \frac{(C_{p_{25^{\circ}C}} - C_{p_{20^{\circ}C}})}{(T_{25^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C})} \cdot (T_{22.5^{\circ}C} - T_{20^{\circ}C}) \right] \quad (12)$$

Donde:

$C_p$ : Calor específico, [ $J/kg \cdot ^{\circ}K$ ].

$T$ : Temperatura, [ $^{\circ}C$ ].

### **Número de Rayleigh**

Esta es utilizada ya que se analiza la convección natural en el medio para lo cual se ha obtenido datos mediante interpolación de la tabla correspondiente al Anexo1, se procede al remplazo de los valores en dicha ecuación.

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})\theta^3}{\nu^2} \cdot Pr \quad (13)$$

Donde:

$Ra$ : Número de Rayleigh

$g$ : Gravedad, [ $m/s^2$ ].

$T_s$ : Temperatura del medio, [ $^{\circ}C$ ].

$T_{\infty}$ : Temperatura de superficie, [ $^{\circ}C$ ].

$\emptyset$ : Diámetro, [m].

$\nu$ : Viscosidad cinemática, [ $m/s^2$ ].

### Número de Nusselt:

Ahora después de realizar la descripción de las diversas ecuaciones que ayudaron con la obtención de los diversos parámetros del diseño, es importante señalar que en algunos casos los valores son constantes y están definidos bibliográficamente. A continuación, se presentarán las constantes que sirven para el cálculo del número de Nusselt [23].

$$Nu = 0.6 + \frac{0.387 Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \quad (14)$$

Donde:

$Nu$ : Número de Nusselt

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor, [ $W/m^2 \cdot K$ ].

$L$ : Longitud característica, [m].

$k$ : Conductividad térmica, [ $W/m^2 \cdot K$ ].

### Coeficiente convectivo

Este está dado por la división entre el número de Nusselt y la conductividad térmica entre el diámetro del biodigestor.

$$h = \frac{Nu k}{\emptyset} \quad (15)$$

Donde:

$h$ : Coeficiente de transferencia de calor, [ $W/m^2 \cdot K$ ].

$Nu$ : Número de Nusselt

$k$  : Conductividad térmica, [ $W/m^2 \cdot K$ ].

$\emptyset$  – Diámetro, [m].

### Transferencia de calor

Esta dada por la multiplicación del coeficiente de transferencia de calor, el área de la tubería y el diferencial de temperatura.

$$Q = h \cdot A_{tuberia} \cdot (T_s - T_{\infty}) \quad (16)$$

Donde:

$Q$ : Tasa de transferencia de calor, [W].

$A_{tuberia}$ : Área de la tubería

$T_s$ : Temperatura del medio, [°C].

$T_{\infty}$ : Temperatura de superficie, [°C].

### Peso molecular:

Esta dada por la división de uno sobre la suma de las relaciones del porcentaje de compuesto que tiene la materia orgánica porcina sobre el peso molecular de la misma, más el correspondiente porcentaje del disolvente sobre su peso molecular.

$$PM = \frac{1}{\frac{\%N}{PMN} + \frac{\%P_2O_5}{PMP_2O_5} + \frac{\%K_2O}{PMK_2O} + \frac{\%CaO}{PMCaO} + \frac{\%MgO}{PMMgO} + \frac{\%Na}{PMNa} + \frac{\%H_2O}{PMH_2O}} \quad (17)$$

Donde:

$PM$ : Peso molecular, [kg/kmol].

%: Porcentaje, [%].

N: Nitrógeno

$P_2O_5$ : Óxido de fósforo

$K_2O$ : Óxido de potasio

$CaO$ : Óxido de calcio

$MgO$ : Óxido de magnesio

Na: Sodio

### **Viscosidad del fango:**

$$v_F = v_{H_2O10^\circ C} \cdot (1 + 2.5 \cdot Cv) \quad (18)$$

Donde:

$v_F$ : Viscosidad cinemática fango, [ $kg/m \cdot s$ ].

$v_{H_2O10^\circ C}$ : Viscosidad cinemática agua, [ $kg/m \cdot s$ ].

$Cv$ : Concentración de volumen, [%].

#### **2.6.1 El volumen del biodigestor**

Hay que interpretar los valores de los siguientes datos: La Finca El Rosal se encuentra ubicada en la comunidad llamada García Moreno en la zona rural de Intag, esta zona es considerada como subtropical por ende tiene una temperatura aproximada de 25 °C a 30 °C. Esta zona se encuentra a 1490 msnm.

#### **2.6.2 Clima**

Martí [1] manifiesta en su libro que: para las regiones que se encuentran localizadas en el trópico mantienen una temperatura entre los 13° a los 38 °C, mientras que el biodigestor se mantiene con una temperatura de 25° a 30 °C y se encuentran ubicadas en los 0 a 18000 metros de altura. Entonces se debe tener en cuenta que el tiempo que el biodigestor realizará la retención de la mezcla será de 34 días.

Para establecer con exactitud la masa necesaria de desechos frescos que necesitara el biodigestor, el cual menciona que si el peso del cerdo tiene 100 kg produce 4 kg de estiércol fresco a ser tomado en cuenta para la producción de biogás.

### **2.7 Proceso de mezclado**

Esta mezcla se ejecutará primero con la recolección de excremento de ganado porcino desde las chancheras, lo cual es factible ya q dicha materia se encuentra localizada y en grandes cantidades.

Depende donde se puede obtener este material orgánico para su producción y a su vez se deberá indicar la cantidad necesaria que es necesaria para la fermentación.

En este estudio que sea ha llevado a cabo se va a utilizar 100 % de materia organiza de ganado porcino la cual será obtenida de la Finca El Rosal, con la cual se realizara una mezcla 1:4 de materia orgánica y 3:4 de agua permitiendo tener un aprovechamiento total examinando en desperdicio generado. Con este tipo de herramienta se obtendrá grandes beneficios.



**Figura 7.**Proceso de mezclado [5].

Después de realizar la recolección de estiércol de la finca se procede a ejecutar la mezcla de relación de agua con la materia orgánica [2].

## **2.8 Proceso de fermentación**

La mezcla se deposita en los distintos contenedores correspondientes durante el tiempo de 34 días, tiempo necesario para que con la cantidad de estiércol que se deposite comience a producir el biogás en las proporciones que el biodigestor permita.

Cada cierto tiempo es necesario realizar una inspección a la máquina para asegurarse que no tenga fugas, para esto se usa una solución jabonosa que se diluirá en agua, la cual se esparcirá por todo el aparato, para poder verificar si se generan burbujas, las cuales ayudan a identificar si existe algún tipo de fuga, estas podrían ocasionar una pérdida considerable de la eficiencia de ese equipo, además que puede ser una acción insegura que generaría graves accidentes.

Luego de haber realizado el proceso de fermentación total de la biomasa se deberá consumir el gas producido por el biodigestor utilizándolo en una cocina común, así se podrá probar la eficiencia de este equipo.

## **2.9 Proceso de aseo del equipo**

Una vez utilizado el biogás en el tanque se queda un residuo que se llama compost, el cual se debe limpiar de manera inmediata utilizando agua.

Este residuo saliente se deberá recolectar para usarse en otros beneficios es el valor agregado de este producto, y así aprovechar en un 100 % la masa que ingresa al principio de la producción de biogás.

Cuando se ha limpiado el contenedor estará nuevamente listo para volver a utilizarlo, realizando la fermentación y siguiendo por todo el procedimiento.

## **2.10 Conclusiones del capítulo**

El biodigestor de geomembrana ayuda de manera visible ahorrar y generar energía, de esta manera se puede mejorar de estilo de vida de las personas que implementen este sistema, para poder utilizar este biodigestor hay que realizar la investigación previa del tipo de ganado y la disposición que este tendrá porque así se podrá sacar un máximo de rendimiento al sistema. Para la construcción de este equipo se utilizan materiales de larga duración y que soporten los diversos cambios climáticos que existen en la zona para que la inversión sea aprovechada de buena manera

Dentro del capítulo se observa que las partes principales de un biodigestor deben tener las características necesarias para cumplir con su parte del trabajo en la obtención del biogás, la parte más importante de todo el biodigestor es el tanque de almacenamiento donde debe cumplir con normas y características especiales para que no ocurran accidentes o pueda haber fugas de gas que podrían ocasionar graves problemas, hay que tener en cuenta que una persona especializada debe realizar la instalación y tener un régimen de mantenimiento realizado por un experto para que funcione de buena manera este sistema.



## CAPÍTULO III

### CÁLCULO PARA LA SIMULACIÓN DEL BIODIGESTOR

En el capítulo III se va a determinar cada uno de los parámetros que se van a utilizar para el funcionamiento del biodigestor, mediante la utilización de distintas ecuaciones explicadas en el capítulo II. Los resultados conseguidos teóricamente permitirán realizar un análisis donde se comparan los datos calculados mediante simulación.

#### 3.1 Cálculos de dimensionamiento de biogás

Es obtiene valores de producción de materia producida que se encuentran en la tabla 6, con el fin de realizar el dimensionamiento del biodigestor que se empleara para aportar con la cocción de alimentos en la finca.

Es obtiene valores de producción de materia producida que se encuentran en la tabla 7 del ganado porcino de la finca con el fin de realizar el dimensionamiento del biodigestor que se empleara para aportar con la cocción de alimentos en la finca.

#### - Identificación de ecorregiones según temperatura ambiental

La finca El Rosal se encuentra en una región tropical en la cual se manejan temperaturas variables dependiendo de la época, para el proyecto a realizar se ha tomado una temperatura ambiente promedio de 22.5 °C para lo cual es necesario realizar una interpolación para obtener el tiempo de retención necesario.

Tabla 6. Interpolación para tiempo de retención

Región	Temperatura °C	Tiempo de retención [días]
Trópico	30	25
El Rosal	22.5	34
Valle	20	37

Se obtuvo con un tiempo de retención de 34 días mediante la interpolación realizada en la tabla 6.

- **Volumen de producción de estercolo fresco**

Para la obtención del volumen de estiércol generado por día en la finca El Rosal se empleará a información de la tabla 7.

**Tabla 7.** Animales que alimentan el biodigestor (Cerdos)

<b>Número</b>	<b>Ganado</b>	<b>Peso estimado por unidad kg</b>	<b>kg de desechos obtenidos Por cada 100 kg de peso animal</b>	<b>Total, kg</b>
2	Cerdos grandes	150	4	12
3	Cerdos medianos	75	4	9
<b>TOTAL</b>				<b>21</b>

- Volumen de un biodigestor es:

Cuando se tiene el volumen de materia orgánica que se obtiene cada día para la alimentación del digestor, se calcula mediante ecuación (1):

$$V_{dl} = [kg(excreta) + kg(agua)] T_r$$

$$V_{dl} = [(21kg + 63kg) \cdot 34]$$

$$V_{dl} = [(84kg) \cdot 34]$$

1000 litros = 1 metro cúbico

$$V_{dl} = 2856 L = 2.856m^3$$

- **El volumen de un biodigestor gaseoso:**

La obtención de gas depende de la cantidad de personas que lo utilicen para cocción de alimentos, se utiliza la ecuación (2).

$$V_g = \frac{V_{dl}}{3}$$

$$V_g = \frac{2.856m^3}{3} = 0.952m^3$$

$$V_g = 0.952m^3$$

El gas que se obtiene se utilizara en la cocina de la gente de esta finca y para el alimento de otros animales que viven dentro de ella, en donde una persona consume  $0.35m^3$  de gas diario para satisfacer sus necesidades alimenticias.

- **Volumen total de biodigestor está dado por:**

La obtención del volumen total de la cámara dependerá de la suma del volumen de carga liquida y del volumen de carga gaseosa para lo cual se empleará la ecuación (3):

$$V_r = V_{dl} + V_g$$

$$V_r = (2.856 + 0.952)m^3$$

$$V_r = 3.8 m^3$$

Una vez que se ha obtenido el volumen total de capacidad del biodigestor se procede a realizar el dimensionamiento del mismo tomando en cuenta las ecuaciones 4, 5 y 6 las cuales permitirán obtener el volumen total de la cámara del biodigestor:

$$V_c = \pi \cdot r^2 \cdot l$$

$$V_c = \pi \cdot (0.5 m)^2 \cdot 5 m$$

$$V_c = 4.71 m^3$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$

$$V_e = \frac{4}{3} \pi \cdot (0.5 m)^3$$

$$V_e = 0.5235 m^3$$

$$V_b = V_c + V_e$$

$$V_b = 4.71 m^3 + 0.5235 m^3$$

$$V_b = 4.4506 \text{ m}^3$$

### 3.2 Datos generales del biodigestor

Nomenclatura para los cálculos del biodigestor:

$V$ : Velocidad, [m/s].

$D$ : Diámetro, [m].

$T_p$ : Temperatura promedio, [°C].

$T_i$ : Temperatura del medio, [°C].

$T_s$ : Temperatura de la superficie, [°C].

$L$ : Longitud [m]

Los datos generales que son conocidos de un biodigestor son:

$$V = 1.38 \text{ [m/s]}$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$T_i = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_s = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

### 3.3 Cálculos de la temperatura promedio

La temperatura promedio empleando la ecuación (7):

$$T_p = \frac{T_i + T_s}{2}$$

$$T_p = \frac{35 \text{ }^\circ\text{C} + 10 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_b = 22.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se puede encontrar en el Anexo 1 la tabla en la cual se aprecia a detalle las propiedades del aire a la presión.

### 3.4 Cálculo de la densidad

A continuación, se aprecia detalladamente la tabla 8 de interpolación para calcular la densidad:

**Tabla 8.** Tabla de interpolación para la densidad [24].

Temperatura °C	Densidad [ $kg/m^3$ ]
20	1.204
22.5	$\rho$
25	1.184

Debido a que no existe una densidad de 22.5 °C se procede a realizar una interpolación entre las temperaturas de 20 °C y 25 °C [24].

$$\rho = 1,204[kg/m^3] + \left[ \frac{(1.184 - 1.204)[kg/m^3]}{(25 - 20)^{\circ}C} \cdot (22.5 - 20)^{\circ}C \right]$$
$$\rho = 1.194 [kg/m^3]$$

### 3.5 Cálculo de conductividad térmica

A continuación, se aprecia detalladamente la tabla 9 la interpolación para calcular la conductividad térmica:

**Tabla 9.** Tabla de interpolación para la conductividad térmica [24].

Temperatura °C	Conductividad Térmica [ $W/m^{\circ}C$ ]
20	0.02514
22.5	$k$
25	0.02551

Debido a que no existe conductividad térmica de 22.5 °C se procede a realizar una interpolación entre las temperaturas de 20 °C y 25 °C [24].

$$k = 0.02514[W/m^{\circ}C] + \left[ \frac{(0.02551 - 0.02514) [W/m^{\circ}C]}{(25 - 20)^{\circ}C} \cdot (22.5 - 20)^{\circ}C \right]$$

$$k = 0.02532[W/m^{\circ}C]$$

### 3.6 Cálculo de la viscosidad cinemática

A continuación, se aprecia detalladamente la tabla 10 de interpolación para calcular la viscosidad cinemática:

**Tabla 10.** Tabla de interpolación para la viscosidad cinemática [24].

Temperatura °C	Viscosidad cinemática [m/s <sup>2</sup> ]
20	1.825x10 <sup>-5</sup>
22,5	<i>v</i>
25	1.849x10 <sup>-5</sup>

Debido a que no existe viscosidad cinemática de 22,5 °C se procede a realizar una interpolación entre las temperaturas de 20 °C y 25 °C [24].

$$v = 1,825x10^{-5}[m/s^2] + \left[ \frac{(1.849x10^{-5} - 1.825x10^{-5})[m/s^2]}{(25 - 20)^{\circ}C} \cdot (22.5 - 20)^{\circ}C \right]$$

$$v = 1.837x10^{-5} kg m/s^2$$

### 3.7 Cálculo del número de Prandtl

A continuación, se aprecia detalladamente la tabla 11 de interpolación para calcular el número de Prandtl:

**Tabla 11.** Tabla de interpolación para el número de Prandtl [24].

Temperatura °C	Número de Prandtl
20	0.7309
22.5	$Pr$
25	0.7296

Debido a que no existe un número de Prandtl de 22,5 °C se procede a realizar una interpolación entre las temperaturas de 20 °C y 25 °C [24].

$$Pr = 0.7309 + \left( \frac{(0.7296 - 0.7309)}{(25 - 20)^\circ C} \cdot (22.5 - 20)^\circ C \right)$$

$$Pr = 0.7302$$

### 3.8 Cálculo del calor específico

A continuación, se aprecia detalladamente la tabla 12 de interpolación para calcular el calor específico:

**Tabla 12.** Tabla de interpolación para el calor específico [24].

Temperatura °C	Calor específico [J/ kg K]
20	1007
22.5	$C_p$
25	1007

Debido a que no existe calor específico de 22,5 °C se procede a realizar una interpolación entre las temperaturas de 20 °C y 25 °C [24].

$$C_p = 1007 \text{ [J/ kg K]} + \left[ \frac{(1007 - 1007) \text{ [J/ kg K]}}{(25 - 20)^\circ\text{C}} \cdot (22.5 - 20)^\circ\text{C} \right]$$

$$C_p = 1007 \text{ [J/ kg K]}$$

### 3.9 Cálculo del número de Rayleigh

El número de Rayleigh habla acerca de un parámetro adimensional que compara la fuerza de flotabilidad con la fuerza de viscosidad y de conducción térmica.

$$R_a = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)\phi^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

$$R_a = \frac{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.00169 \cdot (35 - 100^\circ\text{C}) \cdot 1 \text{ m}^3}{0.00001837^2 \text{ ms}^{-2}} \cdot 0.7302$$

$$R_a = 896848810.9$$

### 3.1 Cálculo del número de Nusselt en convección natural

Este cálculo habla acerca de un aumento de transmisión de calor en la superficie por la que un fluido a recorrido, es un cálculo dando como resultado un valor adimensional.

$$N_u = 0.6 + \frac{0.387 R_a^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}}$$



$$Nu_u = \left[ 0.6 + \frac{0.387 \cdot 896848810.9^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.559}{0.7302} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu_u = 19.97$$

### 3.10 Cálculo de coeficiente convectivo

Este cálculo es una relación directa de calculo que tiene que ver con el número de Nusselt que da como resultado un coeficiente convectivo.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{\phi}$$

$$h = \frac{19.97 \cdot 0.02532 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]}{1m}$$

$$h = 0.5058 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

### 3.11 Cálculo de la tasa de transferencia de calor

Este cálculo de tasa de transferencia de calor se realiza previamente a la simulación debido a que demuestra a cantidad de calor que se empleara en el proceso de obtención de biogás.

$$Q = h \cdot A_{tuberia} \cdot (T_s - T_\infty)$$

$$Q = 0,5058 [W/m^2 \cdot ^\circ C] \cdot (\pi \cdot 1 m \cdot 6 m) \cdot (35 - 10)^\circ C$$

$$Q = 238.3526 W$$

### 3.12 Cálculo de peso fango

Se procede a realizar el cálculo del peso molecular del fango el cual es necesario para obtener el valor porcentual de cada compuesto el mismo que se encuentra en el Anexo 3 que describe la composición química del estiércol sólido porcino.

$$PM = \frac{1}{\frac{\%N}{PMN} + \frac{\%P_2O_5}{PMP_2O_5} + \frac{\%K_2O}{PMK_2O} + \frac{\%CaO}{PMCaO} + \frac{\%MgO}{PMMgO} + \frac{\%Na}{PMNa} + \frac{\%H_2O}{PMH_2O}}$$

$$P = \left[ \frac{1}{\frac{2.04\%}{14.0067[g/mol]} + \frac{6.1\%}{283.889[g/mol]} + \frac{1.63\%}{94.2[g/mol]} + \frac{3.98\%}{56.0774[g/mol]} + \frac{2\%}{40.3044[g/mol]} + \frac{0.23\%}{22.9897[g/mol]} + \frac{75\%}{18.01528[g/mol]}} \right]$$

$$PM = \frac{1}{4.4781[mol/g]} + \frac{75\%}{18.01528[mol/g]}$$

$$PM = 3.1742[g/mol] + 4.1631[g/mol]$$

$$PM = 7.3373[kg/kmol]$$

### 3.13 Cálculo de c

Para realizar este cálculo se toma datos del anexo 5 para la viscosidad del agua a 10°C, la cual es el disolvente para realizar la mezcla del fango.

$$v_F = v_{H_2O 10^\circ C} \cdot (1 + 2.5 \cdot Cv) \quad (19)$$

$$v_F = 0.001308 [kg/m s] \cdot (1 + 2.5 \cdot 20\%)$$

$$v_F = 0.066708[kg/m s]$$

### 3.14 Conclusiones del capítulo

En el capítulo 3 mediante cálculos se ha podido realizar el dimensionamiento de un biodigestor fabricado por geomembrana o de geomembrana el cual tendrá las dimensiones de 1 metro de diámetro y 6 metros de largo permitiendo tener una área extensa de  $4.71m^3$  una área mediante la cual permitirá abastecer las necesidades de la finca el Rosal ya que dicha finca cuenta con 6

cerdos que genera un total de  $3.8 m^3$  de capacidad del biodigestor se ha tomado en cuenta un sobredimensionamiento ya que en un futuro puede existir un número mayor de ganado porcino en la finca para que permita una mayor producción de gas metano que será utilizado para la cocción de alimentos.

Los cálculos de transferencia de calor en las cuales se menciona que para realizar la simulación se deben tener datos previos que permitan obtener resultados los cuales han sido sacados de la tabla de Cengel. Se ha sacado mediante una temperatura promedio que es la temperatura del medio con la temperatura de la superficie una temperatura de  $22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a la cual se ha trabajado considerando que se tiene que realizar interpolaciones para encontrar los valores de tal densidad y viscosidad mediante estos cálculos también se realizó la obtención del número de Rayleigh, el cual ha sido empleado y que se trata de una convección natural. Estos cálculos realizados deben ser cercanos a la realidad y cruzarlos con la simulación.

## CAPÍTULO IV

### SIMULACIÓN DEL BIODIGESTOR

El capítulo IV trabaja con los distintos resultados que se obtienen de la simulación del programa ANSYS sobre la transferencia de calor del biodigestor teniendo en cuenta el cambio de fase que presentará el metano  $CH_4$  en el interior de este, se tomará en consideración todos parámetros y cálculos previos realizados en el anterior capítulo. Se recalca que dicha simulación es cercana a la realidad ya que la temperatura con la que se trabaja es la ambiente.

#### 4.1 Modelo multifacético

En el desarrollo de este estudio que cuenta con procedimientos de cambio de fase, tanto en procesos de condensación y vaporación donde estos sucedieron dentro del tubo de calor, donde se basan los 3 modelos que utiliza ANSYS para poder realizar este estudio de fluidos multifacéticos.

- Modelo de mezclado
- Modelo VOF
- Modelo Euliano

Estos modelos ya mencionados mantienen diferencias entre ellos, cada uno de estos tiene desventajas y ventajas entre sí, no obstante, la mejor manera de obtener estos resultados es usando el modelo Euliano permitiendo obtener datos más precisos y cercanos a fenómeno físico real, de igual manera este modelo es muy riguroso al instante de evaluar las diferentes variables de cualquier proceso en este caso como la energía, cantidad de movimiento y masa [25].

#### 4.2 Modelo de evaporación y condensación

Para enfocarse en las diversas fases que este fenómeno tiene como la evaporación y condensación se debe usar estos modelos, estos dos tipos de modelos son los más utilizados el primero es el Thermal Phase Change y el segundo es el modelo Lee, la última es utilizada para poder simular el tubo de calor [25].

#### 4.2.1 Modelo de Lee

Este tipo de biodigestor es utilizado para resolver los diversos enfoques multifacéticos, una de las más importantes en la que se usa es la transferencia de masa que es manejada por la ecuación principal de vapor para los procedimientos de condensación y evaporación respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_v \rho_v) + \nabla \cdot (\alpha_v \rho_v \vec{V}_v) = \dot{m}_{lv} - \dot{m}_{vl} \quad (20)$$

ANSYS Fluent menciona las condiciones que se muestran en la transmisión de masa de manera positiva como si este fuera líquido evaporado por los diversos problemas que presenta de evaporación-condensación, basándose en estos criterios como principal característica la temperatura, la transferencia de masa se representa como:

Si  $T_l > T_{sat}$  en evaporación se cumple:

$$\dot{m}_{lv} = coef f \cdot \alpha_l \rho_l \frac{(T_l - T_{sat})}{T_{sat}} \quad (21)$$

Si  $T_l < T_{sat}$  en evaporación se cumple:

$$\dot{m}_{vl} = coef f \cdot \alpha_l \rho_l \frac{(T_{sat} - T_l)}{T_{sat}} \quad (22)$$

Se debe tomar en cuenta que el coeficiente es teóricamente diferente para la expresión de condensación y evaporización. Asimismo, la expresión teórica se basa en algunas suposiciones fuertes [25].

### 4.3 Simulación

A continuación, se detallada la simulación de los diversos parámetros que estarán en el biodigestor:

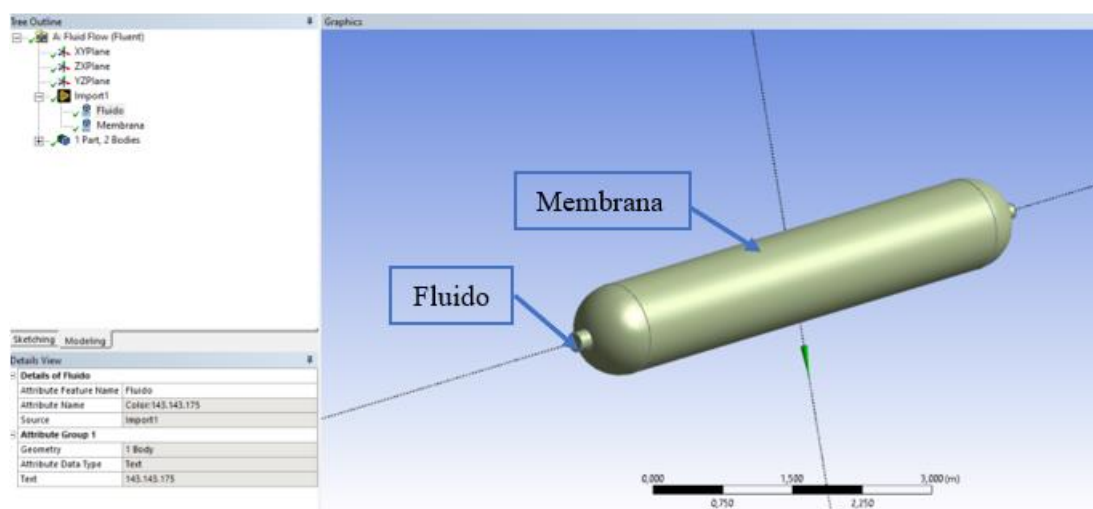
#### 4.3.1 Simulación 3D

A continuación, se habla del procedimiento que se realizó para la simulación de transferencia de calor del biodigestor con el medio en el que se encuentra, para lo cual empleó un software de investigación CFD del programa de ANSYS FLUENT, el cual cuenta con un paquete

informático que permite la resolución los procesos físicos que se presentan en el estudio de los fluidos.

#### - Partes de la simulación de transferencia de calor

En primera instancia se importó la geometría del biodigestor desde el programa SolidWorks tomando en cuenta que la parte sólida es geomembrana la cual tiene un espesor de 1.5mm y en su interior se almacenara metano en estado gaseoso. En la figura 8 se puede observar las partes que conforman la simulación.

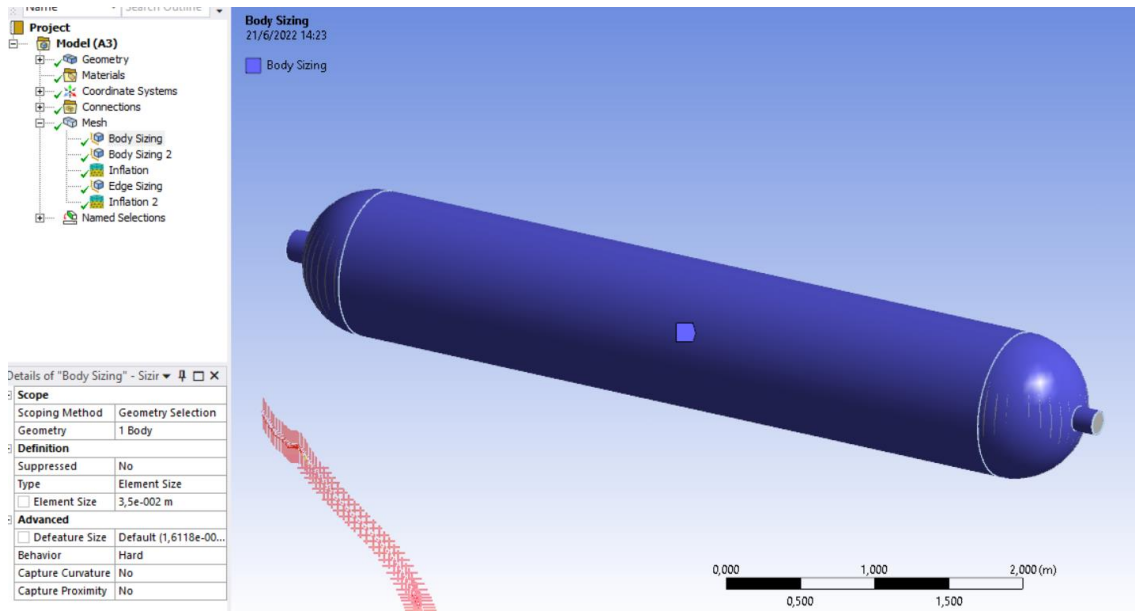


**Figura 8.**Partes de la simulación de transferencia de calor.

Es importante describir que las dimensiones del biodigestor, la longitud total de la cámara de almacenamiento es de 6000 mm, el diámetro del tubo es de 1000 mm se debe considerar también que la membrana tiene un espesor de 1.5 mm.

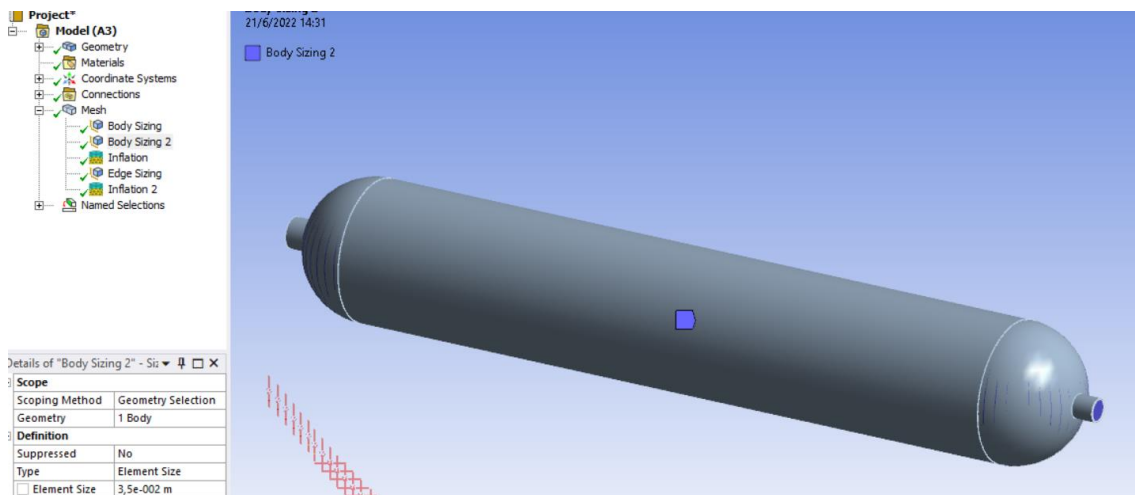
#### - Mallado Body Syzing membrana

En segunda instancia se procede a realizar varios mallados entre ellos se tiene los de la figura 9 que es un Body Sizing para la membrana posterior a ellos se realiza un Body Sizing.



**Figura 9.**Mallado Body Syzing membrana.

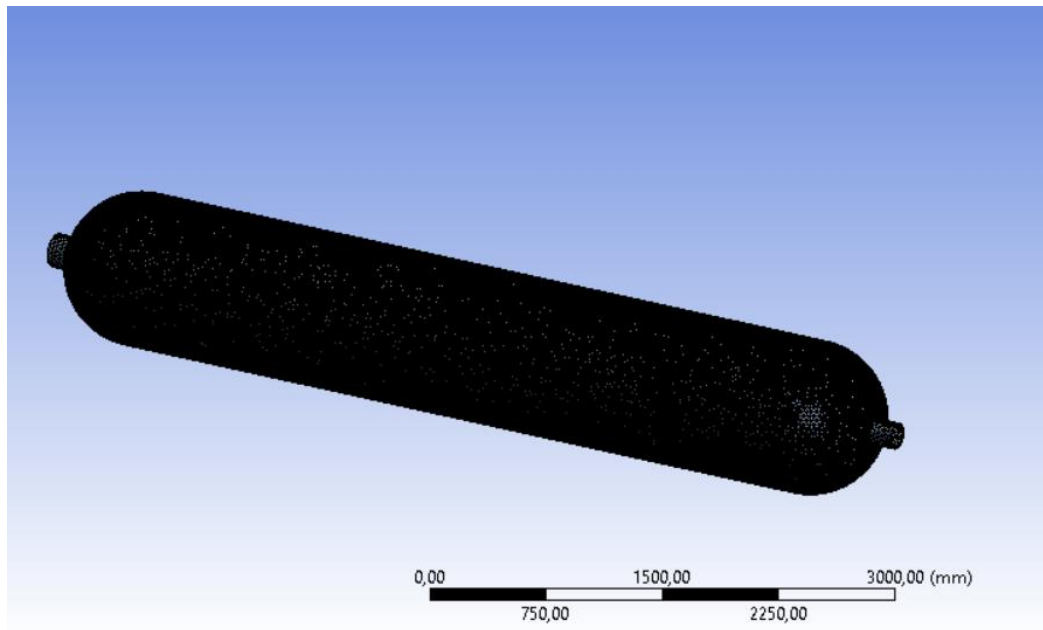
Para el fluido como se puede apreciar en la figura 10, para reforzar dichos mallados también se trabaja con Inflation para las secciones de entrada y salida.



**Figura 10.**Mallado Body Syzing fluido.

- **Mallado del biodigestor**

Para obtener como resultado un mallado con se puede observar en la figura 11.



**Figura 11.**Mallado biodigestor.

El mallado tiene un número de 186589 nodos y 941480 elementos como se puede observar en la figura 12.

Details of "Mesh"	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default (0,32235 m)
Export Format	Standard
Export Preview Surface Mesh	No
<input checked="" type="checkbox"/> Sizing	
<input checked="" type="checkbox"/> Quality	
<input checked="" type="checkbox"/> Inflation	
<input checked="" type="checkbox"/> Advanced	
<input checked="" type="checkbox"/> Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	186589
<input type="checkbox"/> Elements	941480

**Figura 12.**Número de nodos y elementos del mallado del biodigestor.

Una vez culminado el mallado se prosede a colocar las condiciones de frontera para lo cual se presenta error al estar utilizando una versión estudiantil con la que se trabaja, por tal motivo se prosede a realizar la simulación en 2D.



### 4.3.2 Simulación 2D

Una vez presentado el inconveniente por la gran cantidad de nodos y elementos se procede a realizar la simulación en 2D para dar continuidad con la investigación.

Es necesario realizar una nueva geometría en 2D como se puede mirar en la figura 13, la cual permita dar continuidad a la nueva simulación, la cual tiene 6 m de longitud y un diámetro de 1m como se puede ver en la figura 14.

#### - GEOMETRY

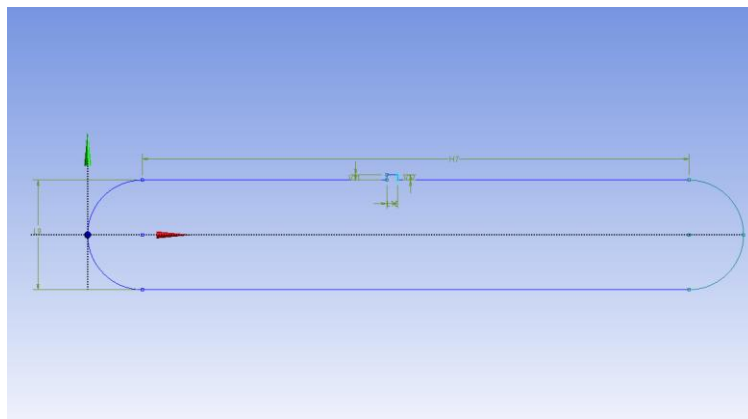


Figura 13. Forma del biodigestor en 2d.

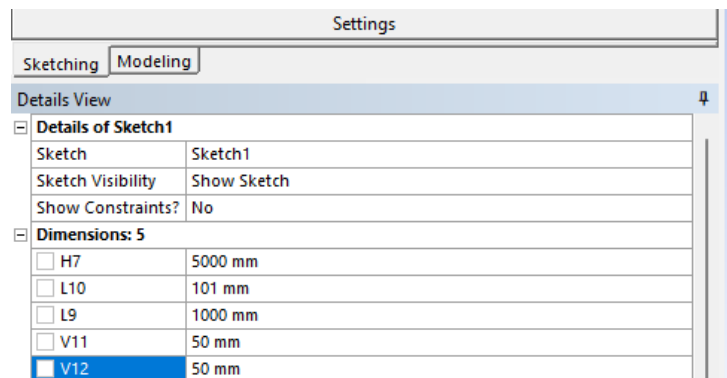
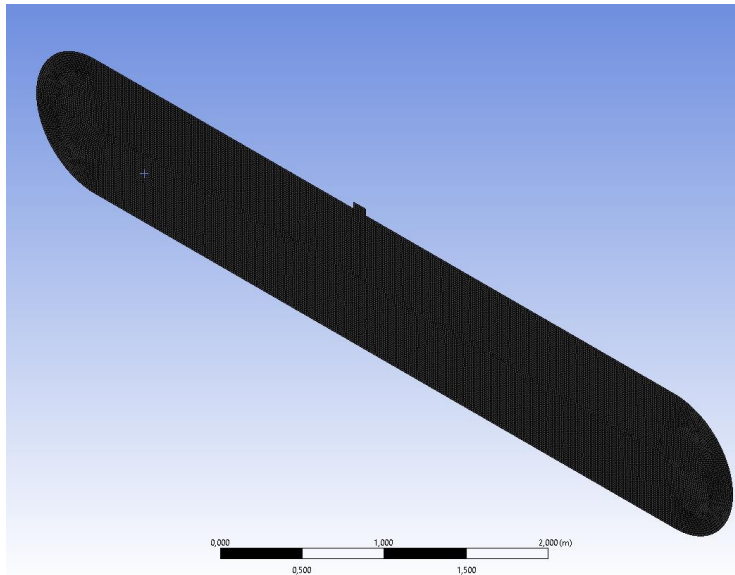


Figura 14. Geometría del biodigestor en 2d.

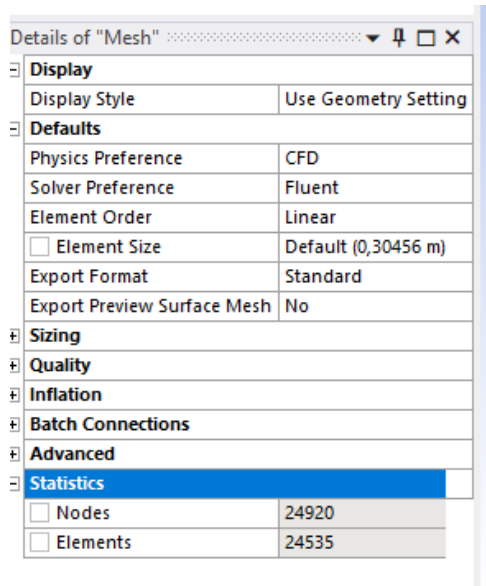
#### - Mallado 2D

Como segundo paso de la simulación en 2D como se observa en la figura 15 se procede a realizar un mallado simple por defecto y posterior a ello un Face Sizing el cual permitirá realizar la simulación y evitar posibles errores en el transcurso de la simulación.



**Figura 15.**Mallado 2D.

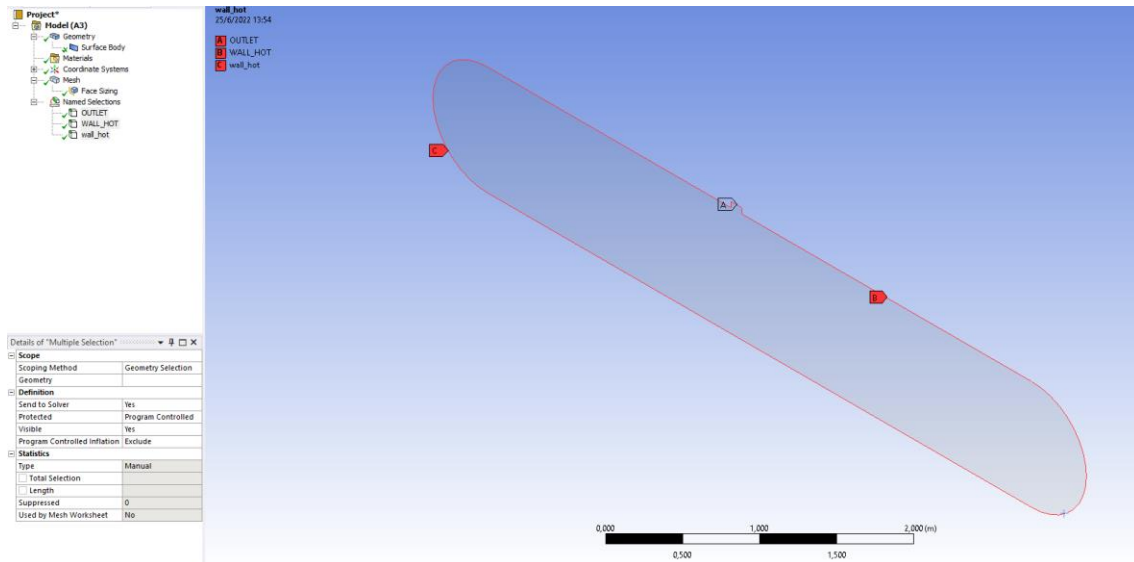
Se puede apreciar en la figura 16 la presencia de 24920 nodos y 24535 elementos.



**Figura 16.**Número de elementos y nodos mallado 2D.

- **Condiciones de frontera**

Adicional a lo mencionado en la figura 17 se puede apreciar las condiciones de frontera detalladas con las letras A para la salida, B para la membrana que se calienta por su exposición con el medio ambiente y C para la membrana que se encuentra en contacto con el suelo.

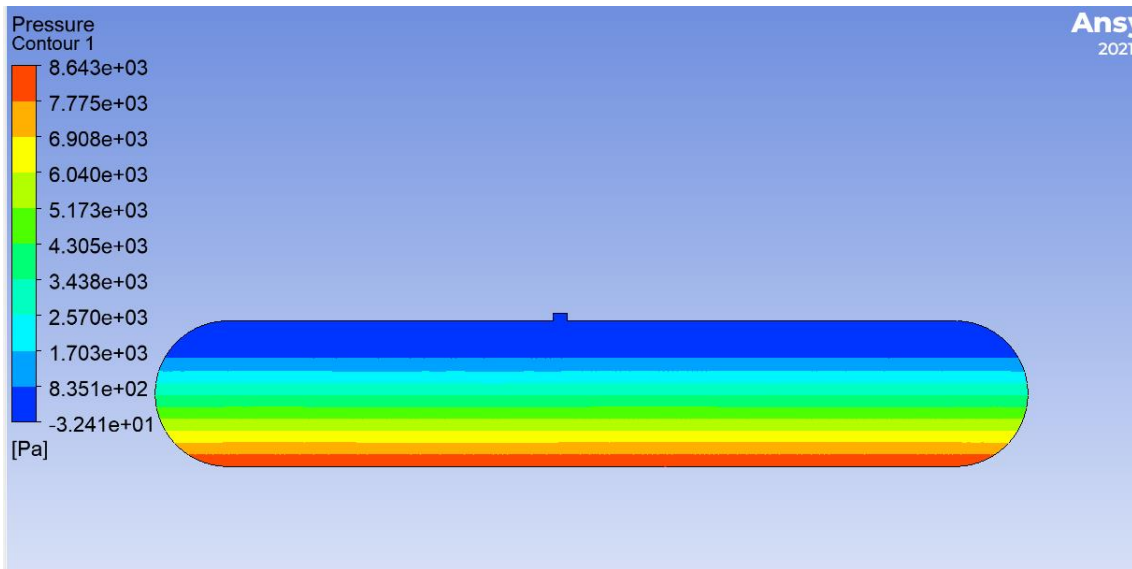


**Figura 17.**Condiciones de frontera.

#### 4.4 Análisis de resultados

Para la interpretación de resultados obtenidos se destaca que se ha trabajado con dos componentes para el estado líquido fango y para el estado gaseoso metano permitiendo observar el cambio de fase de estos elementos en interacción con sus paredes calientes, se realiza contornos de presión, fase en relación con su volumen, velocidad, viscosidad y densidad.

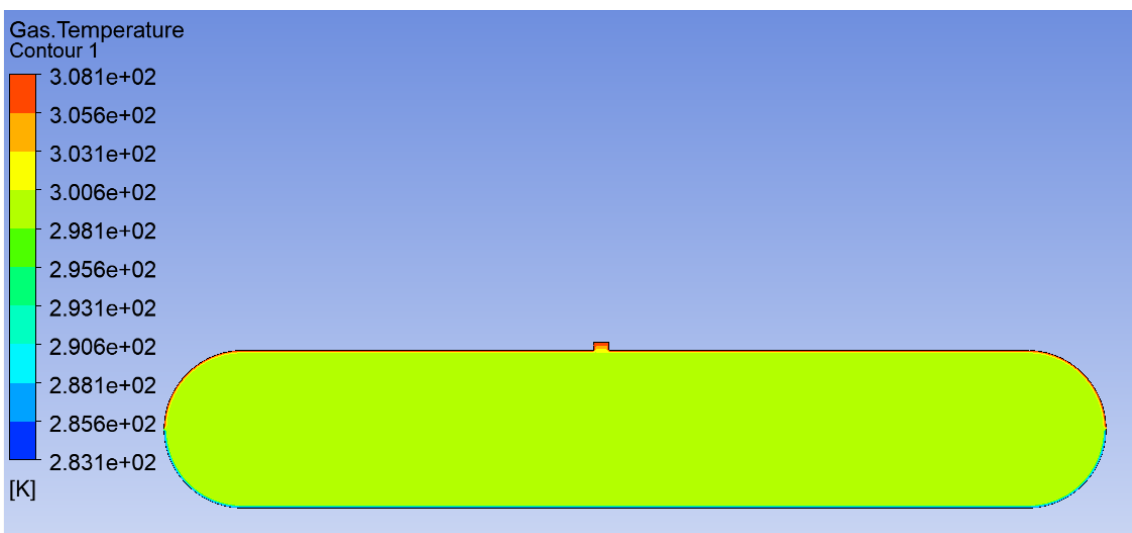
En la figura 18 se puede apreciar el cambio de fase existente en el interior del biodigestor en el cual se observa indicadores máximos de 8627 [Pa] que se puede observar en el fondo de la cámara donde se encuentra el fango en su totalidad y un valor mínimo de 29.39 [Pa] el cuál será la presión que tendría el gas metano en el interior de la cámara, antes de ser transportado por medio de tuberías y emplearse como gas, para la cocción de alimento.



**Figura 18.**Contorno de presión.

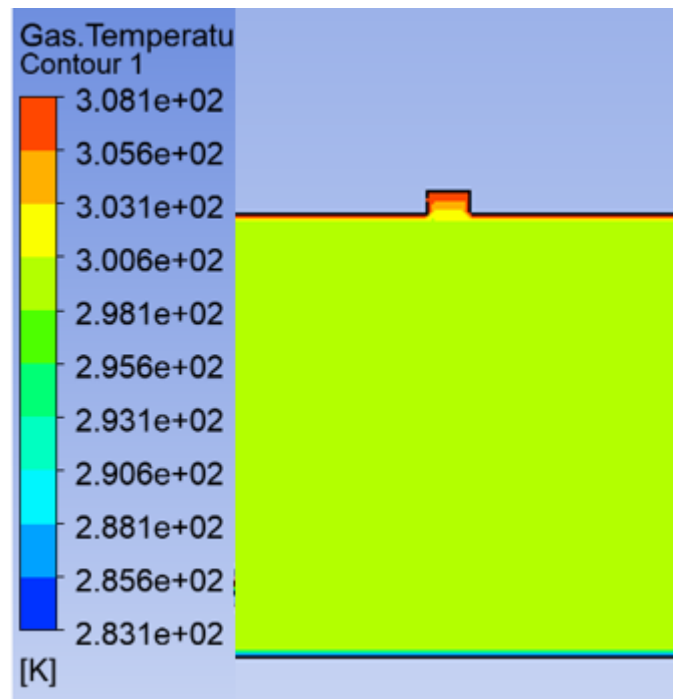
- **Contorno de temperatura**

En la figura 19 se puede apreciar el cambio la temperatura son la que las paredes de la membrana se calientan, este calentamiento en relación con un tiempo prolongada de 20 días de retención en un biodigestor permite que se produzca la reacción anaeróbica que permite la formación de gas menada en un biodigestor. cambio es el que permite que se genere el gas metano en cual permitirá este sea trasportado por tubería hace la cocina para ser destinados a la cocción de alimentos.



**Figura 19.**Contorno de temperatura.

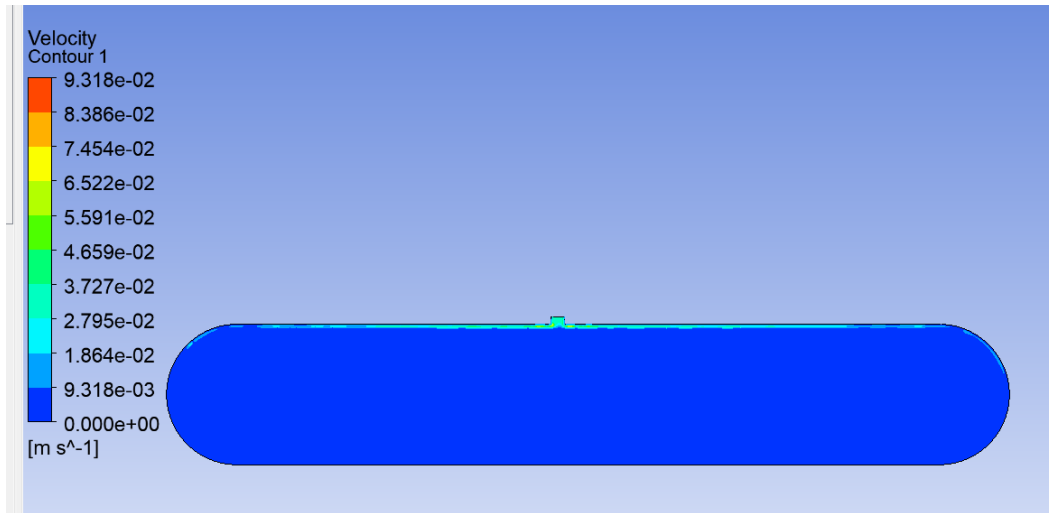
Se aprecia en la figura 20 en a la salida del biodigestor donde se instalara la tubería encargada de transportar el gas se puede observar una temperatura de 34.95°C esta temperatura se mantiene en el trascurso de la geomembrana que se encuentra expuesta al calor del medio y se observa en pequeña cantidad el ingreso del calor al biodigestor l cual mantiene una temperatura interna promedio de 24.95 °C, la temperatura más baja se la geomembrana que está en contacto con el suelo ya que este mantiene una menor temperatura siendo menos el calor que ingresa a la cámara el cual refleja una temperatura aproximada de 12.45°C.



**Figura 20.**Acercamiento contorno temperatura.

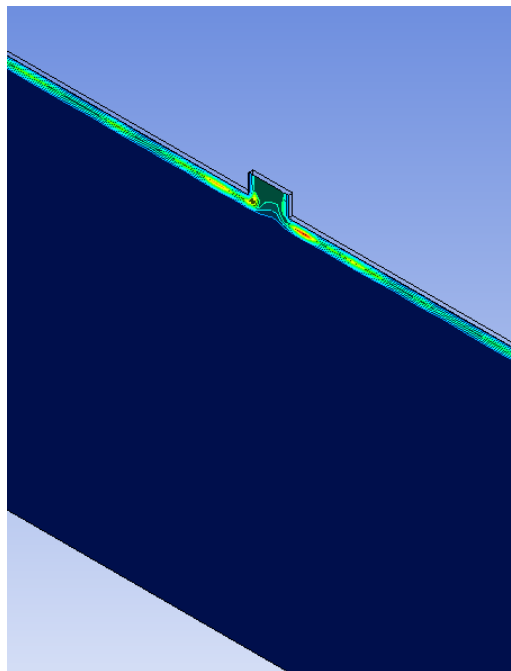
### Contorno de velocidad

Se puede apreciar en la figura 21 el cambio de velocidad en relación mínima que se genera en el gas en el interior teniendo una velocidad máxima de  $6.749e^{-2} m/s$  en las paredes próximas a la salida ya que esta variara al momento de encender la orilla de la cocina y tener consumo.



**Figura 21.**Contorno de velocidad.

Se puede observar en la figura 22 con mayor detalle el incremento de la velocidad a la salida destacando que existe la presencia de una zona roja la cual tendría una velocidad de  $9.318e^{-2} m/s$ .



**Figura 22.**Acercamiento contorno de velocidad.

### - Contorno de viscosidad

En la figura 23 se observa la relación de la viscosidad del metano y el fango presentes en el interior de biodigestor permitiendo observar el cambio de fase que existe desde el parte líquida a la gaseosa permitiendo observar en la superficie donde se encuentra el gas, listo para ser transportado se mantiene una viscosidad mínima de  $7.773e^4 [Pa \cdot s]$  y los 3/4 del cámara que se encuentra el fango existe una mayor viscosidad teniendo una máxima de  $1.008e^2 [Pa \cdot s]$ .

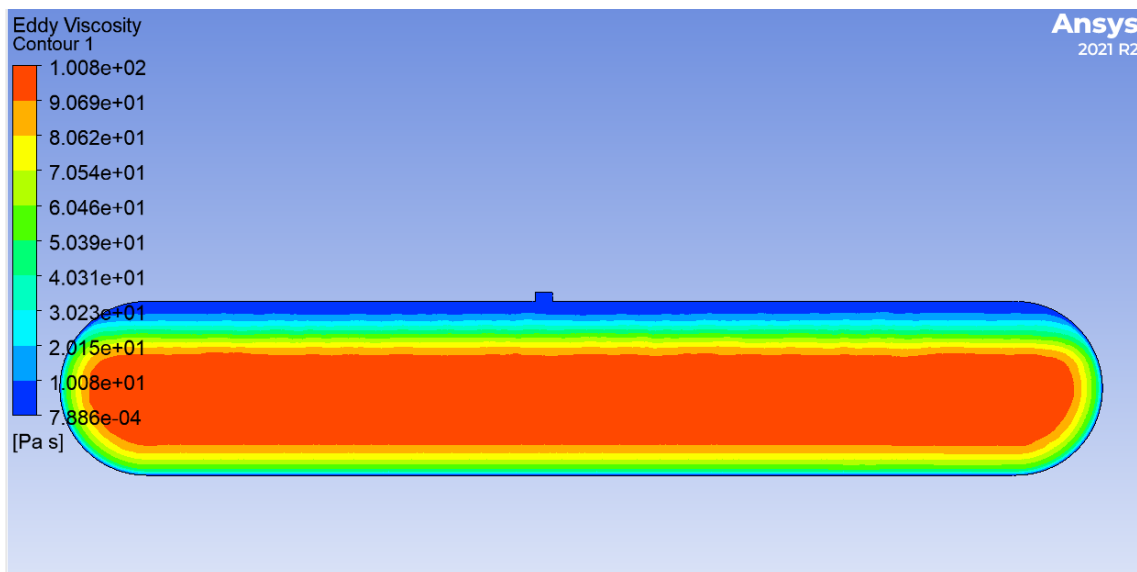
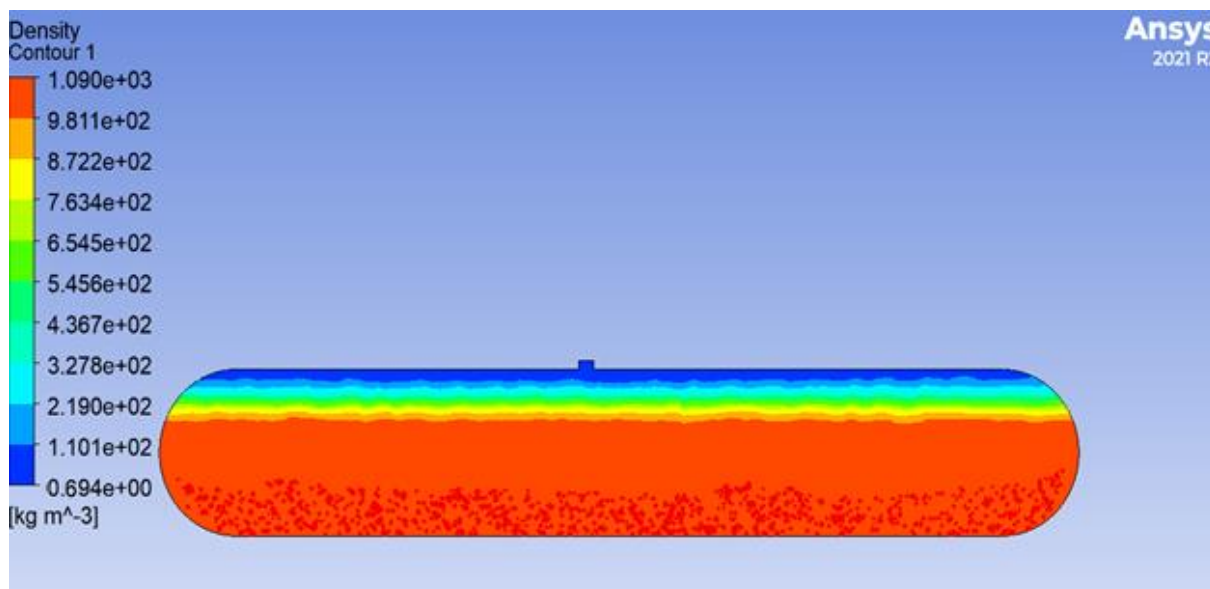


Figura 23. Contorno de viscosidad.

### - Contorno de densidad

En la figura 24 se constata el cambio de fase que se produce en relación a la densidad entre el fango y el metano producto de la transferencia térmica de las paredes de la geomembrana al interior de la cámara. Constatando que para el metano próximo a salir se tiene una densidad menos de  $0.694 [kg/m^3]$  ya que se trata de un gas en formación que en el transcurso de los días de retención completara su fase gaseosa, para poder ser transportado mediante una tubería a una cocina permitiendo realizar la cocción de alimentos.



**Figura 24.** Contorno de densidad.

#### 4.5 Análisis económico

En el capítulo V se realizará el análisis correspondiente de fabricación de un biodigestor de geomembrana con las dimensiones indicadas en capítulos anteriores, el cual permitirá dar abastecimiento de gas doméstico a la Finca el Rosal. Para un correcto análisis se procederá a realizar la cotización de los materiales y mano de obra empleada para su elaboración.

En la tabla 13 se puede observar los materiales necesarios para la fabricación del biodigestor los mismo que tienen un valor monetario de \$121.95

**Tabla 13.** Costos de materiales a ser empleados.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
6	Geomembrana de 1m x1.5 mm	3.5	21
1	Tubo PVC 6 pulgadas	15	15
1	Tubo PVC 4 pulgadas	11	11
1	Codo de 4 pulgadas	2.2	2.2
1	Tubo de llanta de carro	20	20
1	pasamuros PVC 1/2 pulgada	4.50	4.50
2	llaves de paso de 1/2 pulgada	9	18
25	manguera negra ½	1.05	26.25
	<b>TOTAL</b>		<b>121.95</b>



#### 4.6 Valor de fabricación e implementación

Posterior a obtener las dimensiones de fabricación del biodigestor se procede a realizar una proforma que permita analizar la viabilidad de la propuesta. En la tabla 14 se puede mirar los distintos valores que son necesarios para acceder de manera adecuada a la mano de obra que será necesaria para la fabricación del biodigestor con un valor monetario de \$116.

Tabla 14. Costo de mano de obra.

Cantidad	Operario	Valor Unitario	Valor Total
1	Supervisor	50	50
3	Obreros	22	66
<b>TOTAL</b>			<b>116</b>

Es posible observar en la tabla 15 la gran importancia tener presente los costos varios que se pueden genera al momento de estar realizando la instalación por tal motivo y necesario tener un valor de \$80 en caso de ser necesarios más materiales o herramientas.

Tabla 15. Costos de imprevistos.

Detalle	Valor
Costos de instalación	25
Costos imprevistos	55

Una vez analizado el valor de los materiales y mano de obra necesario tomando en cuenta los imprevistos para lo cual se obtuvo un valor total de inversión como se observa en la tabla 16 la cual nos permiten tener un valor claro de la inversión necesaria para poner en funcionamiento el biodigestor.

Tabla 16. Inversión para implementación de biodigestor 6m x 1m.

Inversión	Valor
Costos materiales	121.95
Costo mano de obra	116
Gastos imprevistos	80

**TOTAL**

**317.95**

La vida útil del biodigestor ser de 10 años lo cual nos indica que la inversión total será distribuida para 10 obteniendo un valor de gasto cuya reposición está cubierto en el transcurso de 4 meses, permitiéndonos determinar que la viabilidad de este proyecto es aceptable.

**Tabla 17.** Tiempo de recuperación de la inversión.

<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor unitario \$</b>	<b>Valor mensual \$</b>	<b>Valor anual \$</b>
1	Fabricación e instalación de un biodigestor	317.95	2.65	31.80
1	Cilindro de gas doméstico en la zona	8	8	96

#### **4.7 Conclusiones de capítulo**

Después de analizar los costos de fabricación e instalación se puede constatar que el tiempo de recuperación del biodigestor es de 3 años y 4 meses, lo cual implica que 6 años y 8 meses serán la ganancia ya que la finca no tendrá que realizar la adquisición de gas doméstico generando un ahorro de \$ 640 dentro del tiempo de vida útil estimad que tiene el biodigestor. Todo esto demuestra que la implementación de este sistema de producción es favorable a la economía de la Finca con lo cual como conclusión es una gran idea esta implementación.

Durante el proceso de simulación 2D se logró demostrar el cambio de fase que existe a causa de la transferencia de calor en las diferentes propiedades que presenta el metano entre las cuales se estudió la interacción con la presión, velocidad, temperatura. viscosidad y densidad. Se constató que el metano a mayor temperatura tiene un incremento de presión, velocidad, viscosidad y su densidad será menor, lo cual nos permite constatar que se convierte en un gas que podrá ser trasportado por medio de una tubería a la cocina domestica pata posterior a ello ser empleado para la cocción de alimentos.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Mediante esta investigación pudo establecerse que la alternativa energética más favorable para la finca El Rosal y la zona, es la implementación de un biodigestor de geomembrana el cual tendrá un costo total de fabricación e implementación de \$ 317.95. Los materiales para su fabricación son de fácil traslado a la zona lo cual permite mejorar el estilo de vida disminuyendo costos de consumo de gas doméstico.
- La generación de  $3.8m^3$  de gas metano empleando descomposición anaerobia con la implementación de un biodigestor de 6m de largo y 1m es completamente beneficioso en las zonas rurales del país ya que permitirá generar energía la cual podrá ser empleada para varias actividades, como es en la cocción de alimentos como fue estudiada en la presente investigación.
- El presente estudio permitió validar mediante cálculos que es completamente viable la implementación de un biodigestor, el cual será empleado como suministro de gas doméstico en base a una producción de 21 kg de materia orgánica porcina con periodo de tiempo cercanos a 34 días con la temperatura ambiente de  $22.5^{\circ}C$  en la finca El Rosal.
- En la simulación se pudo observar mediante un cambio de fase, que a la temperatura ambiente promedio de  $22.5^{\circ}C$  presente en el medio en el cual se realizara la implementación del biodigestor es factible al poder observar el cambio de la densidad, presión y velocidad en la parte superior de la cámara.
- La duración de recuperación de la inversión será de 3 años y 4 meses, lo cual implica que 6 años y 8 meses serán la ganancia para la finca al no tener que realizar la adquisición de gas doméstico generando un ahorro de \$ 640, lo cual permite de manera significativa disminuyendo los inconvenientes económicos y causados por la carestía de gas presente en la zona por cuestión de movilidad.

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

- Se recomienda realizar estudios previos de clima y suelos que permitan tener un panorama claro de la viabilidad del lugar para la instalación de un biodigestor. Con el fin de ser aprovechado al máximo, permitiendo obtener energía renovable que sea un sustento energético y no genere gastos ni perjuicios.
- Con la finalidad de realizar una buena simulación de flujos energéticos es recomendable contar con buenos medios computacionales que permitan mantener una mayor exactitud en los resultados lo cual ayudaran a realizar con mayor facilidad un correcto dimensionamiento y control de producción para cubrir las necesidades.
- Es indispensable realizar cálculos de dimensionamiento y transferencia de calor previos a la simulación con datos obtenidos en el medio, lo cual permitirá tener un panorama claro de permitirá realizar una simulación más cercana a la realidad con una mayor exactitud.
- Se recomiendo realizar la simulación en 2D para evitar errores de licencia y mantener mayor facilidad al momento de realzar la simulación, permitiendo tener disminución de tiempo en la misma.

## LISTA DE REFERENCIAS

- [1] J. Marti, BIO DIGESTORES FAMILIARES, Bolivia : GTZ, 2008.
- [2] P. Macarena y M. Maria, «SEDICI,» 12 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/95534>. [Último acceso: 25 abril 2022].
- [3] R. Narvaez, «Instituto de investigacion Geologico y Energetico,» Gobierno Nacional, 15 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.geoenergia.gob.ec/resultados-de-proyecto-sobre-biodigestores-fue-presentado-en-quito/>. [Último acceso: 10 Octubre 2022].
- [4] J. Marti, «Climate Technology,» 13 Noviembre 2015. [En línea]. Available: [https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210\\_programa\\_nacional\\_de\\_biodigestores\\_en\\_ecuador-ctcn.pdf](https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210_programa_nacional_de_biodigestores_en_ecuador-ctcn.pdf). [Último acceso: 12 diciembre 2022].
- [5] D. Elizondo, Una alternativa de innovación socio-económica, Costa Rica : Labor S.A, 2006.
- [6] P. Sayas, «“Biodigestores una Alternativa tecnológica para el futuro” Universidad Agraria la,» 12 mayo 2016. [En línea]. Available: <http://bio-digestores.blogspot.mx/2012/06/perfil.html..>
- [7] A. A, «AMONRA TECHNOLOGY S.R.L.,» Amonra, 15 Octubre 2005. [En línea]. Available: <https://amonratechnology.wordpress.com/2015/10/15/sabias-que-es-un-biodigestor-cual-es-el-objetivo-y-como-alimentarlo/>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [8] Concytec, «“Biogás y Biometanacion”,» 12 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://concytec.gob.mx..>
- [9] Z. Y. Wang C, Alternativa policies to subsidize, Energy Policy, 2016 .
- [10] C. Ana y P. Pedro, «Dialnet,» 18 Enero 2014. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Profesional/Downloads/Dialnet-ElMetanoComoMateriaPrima-6064271.pdf>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [11] F. Clementi, «GEI,» Clementi, Francoese, 1 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.francoisclementi.com/2019/cuales-son-los-gases-de-efecto-invernadero-gei/>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [12] HEURA GESTIÓ AMBIENTAL, «HEURA, Expertos en Medio Ambiente Industrial,» 31 Julio 2013. [En línea]. Available: <https://heuramedioambiente.wordpress.com/>.
- [13] V. Sabran, «Scielo,» 18 Abril 2012. [En línea]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200009](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200009). [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [14] O. D. Acosta Lorenzo, «Sobre los derivados de la caña de azucar,» *ICIDCA*, pp. 35-48, 2005.
- [15] C. J. Mayor Fanny, «La biodegradacion,» *Pesquisa Javeriana* , pp. 19-24, 2022.

- [16] S. Villasur, «Roams,» 17 febrero 2022. [En línea]. Available: <https://energia.roams.es/energia-renovable/biogas/ventajas/>.
- [17] C. R. Colino Antonio, *Sistemas de generacion electrica*, España: Word Energy , 2012.
- [18] J. Martinez, *Energia Biomasa*, Argentina : Minplan, 2018.
- [19] D. Santis, «Genia Bioenergy,» Fondo Europeo , 18 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://geniabioenergy.com/biogas-y-biodigestores-tipos-ventajas-y-beneficios/>. [Último acceso: 25 Abril 2022].
- [20] R. Saavedraa, «Diseño de un biodigestor,» de *Simposio Peruano de Energia Solar*, Huaraz, 2017.
- [21] J. Viquez, «Puentes Digitales,» Politex, 8 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://puentesdigitales.com/2018/01/08/biodigestores-la-forma-mas-economica-y-sostenible-de-obtener-recursos-en-zonas-rurales/>. [Último acceso: 31 Mayo 2022].
- [22] Arconel, *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano*, Quito, 2018.
- [23] A. Palacios, «Evaluacion y adecuacion de un tanque con agitador y chaqueta de». Ecuador 12 Marzo 2011.
- [24] C. Yunus, *Transferencia de calor y masa*, Mexico: McGRAW-HILL, 2011.
- [25] C. Brennen, *Fundamentals of Multiphase Flows*, Londres: Aks. Edits , 2005.

## ANEXOS

### Anexo 1. Tabla de propiedades del aire

**Tabla:** Propiedades del aire a la presión de 1 atm [24].

Tem. °C	Densidad $\rho, \left[\frac{kg}{m^3}\right]$	C. Especifico $C_p, \left[\frac{J}{kg}\right]$	Conduc. Térmica $k, \left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	Difusiv. Térmica $a, \left[\frac{m^2}{s^2}\right]$	Viscosid. Dinámica $\mu, \left[\frac{kg}{m \cdot s}\right]$	Viscosid. Dinámica $\nu, \left[\frac{m^2}{s}\right]$	Número Prandtl, $Pr$
20	1,204	1007	0,02514	2,074· 10 <sup>-5</sup>	1,825· 10 <sup>-5</sup>	1,516· 10 <sup>-5</sup>	0,7309
25	1,184	1007	0,02551	2,141· 10 <sup>-5</sup>	1,849· 10 <sup>-5</sup>	1,562· 10 <sup>-5</sup>	0,7296

La tabla presentada es la guía para el desarrollo de los cálculos para la simulación del biodigestor [24].

**Anexo 2.** Tabla de valores para la conductividad de polietileno.

Tabla de conductividades del polietileno.

Polymer	Melting Temperature $T_m$ (°C)	Specific Heat at Room Temperature $C_p$ (J/kg·K)	Thermal		Latent Heat of Fusion $\Delta H_m$ (kJ/kg)	Fractional Volume Change $\Delta V/V$ (%)
			Coefficient of Volume Expansion $\beta$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Thermal Conductivity $\kappa$ (W/m·K)		
PE	137	1.92	287	0.3–0.5	277	—
PS	240	0.95	510–600	0.11	87	—
PP	176	1.8	105	0.12	209	—
PVC	273	0.95	520	0.16	—	—
PMMA	200	1.38	460–500	0.19	—	—
PC			260	0.2	—	—



### Anexo 3.- Propiedades de fango de cerdo según su concentración de sólidos

Tabla de Características de fango de cerdo.

Physical properties of manure slurry.<sup>a</sup>

TS (%)	Manure type	$k$ (Pa s <sup>n</sup> )	$n$	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	$\eta_{\min}$ (Pa s)	$\eta_{\max}$ (Pa s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg K)	$k_f$ (W/m K)
2.5	Dairy cattle	0.042	0.710	226-702	0.006	0.008	1000.36	4186.78	0.6171
5.4	Dairy cattle	0.192	0.562	50-702	0.01	0.03	1000.78	4185.94	0.6169
7.5	Dairy cattle	0.525	0.533	11-399	0.03	0.17	1001.00	4185.33	0.6168
9.1	Dairy cattle	1.052	0.467	11-156	0.07	0.29	1001.31	4184.87	0.6167
12.1	Dairy cattle	5.885	0.367	3-149	0.25	2.93	1001.73	4184.00	0.6165
15	Dairy cattle	31.3	0.3	0.64-24.14	3.35	44.24	973	4183.17	0.6163
15	Sheep	19.4	0.29	0.7-23.9	2.04	24.99	965.1	4183.17	0.6163
15	Poultry	2.4	0.38	0.8-23.9	0.34	2.76	1063.6	4183.17	0.6163
15	Pig	2.4	0.38	0.96-23.9	0.34	2.46	967.7	4183.17	0.6163
20	Poultry	35.4	0.29	0.64-24.14	3.69	48.6	1091.8	4181.72	0.6159
20	Pig	56.8	0.35	0.24-23.9	7.22	143.62	1090	4181.72	0.6159

<sup>a</sup> Dairy cattle manure for TS ≤ 12.1% was tested at T = 35 °C, and all the other manure types were tested at T = 17-24 °C.

**Anexo 4.-** Composición química del estiércol sólido porcino

Tabla de estiércol.

MO %	Humedad %	pH	CE dS/m	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %	CaO %
80.86	26.23	6.36	6.27	2.04	6.1	1.63	3.98
MgO %	Na %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm	B ppm	
2.0	0.23	29	385	1580	488	1417	

## Anexo 5.- Viscosidad del agua

### Viscosidad dinámica del agua

#### Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas

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

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

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

## Anexo 6.- Proforma KIVI de materiales biodigestor

RUC 1790041220001  
 Matriz : AV. 10 DE AGOSTO N24-59 Y LUIS CORDERO  
 QUITO Telf: 023987900  
 AGENCIA 14 (IBARRA) Telf: 062631018 062631012  
 Sucursal : AV. MARIANO ACOSTA 2147  
 Señor(es):CONSUMIDOR FINAL  
 Código: 888885-000000  
 Dirección: IBARRA  
 Ciudad : IBARRA Telf. :000000000

CONTRIBUYENTE ESPECIAL-RESOL. SRI 536B  
 PROFORMA DOLARES  
 DOCUMENTO SIN VALOR COMERCIAL  
 IBARRA

RUC : 999999999999999999  
 Vend: USUARIO CONSULTAS  
 Fecha de Emision 22/JUN/2022

PAG. 1/1

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	P.UNITARIO	TOTAL
156744	TUBO PVC DESAGUE 110MMX3MT REFORZA PLAST	1	13,99	13,99
156752	TUBO PVC DESAGUE 160MMX3MT REFORZA PLAST	1	32,45	32,45
158259	TUBERIA VIRGEN FLEX 1/2"HTS 125PSI	25	1,05	26,25
166553	CODO PVC DESAGUE EC 110MMX90G PLASTIGAMA	1	4,37	4,37
181129	LLAVE D/PASO 471.04 BRONCE FV	2	10,98	21,96
285140	GEOTEXTIL NT-1600 ROLLO 400M2 (2X200)	1	500,71	500,71
SUBTOTAL				599,73
DESCUENTO				0,00
TOTAL				599,73

Vta.tarifa 12%	Vta.tarifa 0%	Total Vta.Neta	IVA Tar. 12%	IVA Tar. 0%	TOTAL A PAGAR
535,47	0,00	535,47	64,26	0,00	599,73



Esta proforma tiene validez solo con el nombre, firma del vendedor y sello de COMERCIAL KYWI S.A.  
 En el caso de existir cambios de precios por nuestros proveedores y/o modificaciones cambiarias  
 oficiales que afecten al costo de la mercadería, nos veremos obligados a actualizar precios en el  
 momento de la facturación previo su conocimiento.

Los precios unitarios de esta proforma \*\* SI incluyen I.V.A. \*\*  
 IBARRA , 22 de JUN 2022

CONSUMIDOR FINAL

FIRMA : \_\_\_\_\_ FIRMA : \_\_\_\_\_  
 ESTABLECIMIENTO CLIENTE

Anexo 7.- Proforma MAR-TE de materiales biodigestor

FECHA: 21 junio 2022. <b>NOTA DE VENTA N°</b>			
CLIENTE: <b>PROFORMA</b>		CIUDAD:	
DIRECCIÓN:		TELÉFONO:	
R.U.C.:		F. DE PAGO:	
CANT.	DESCRIPCIÓN	V.UNIT	V.TOTAL
6	Geomembrana del int. x 1.5mm	3.50	21
1	tubo pvc 5'	15	15
1	tubo pvc 4'	11	11
1	Codo 4'	2.20	2.20
1	tubo llanta cavio	20	20
1	brca pasamuros 1/2'	4.50	4.50
2	llaves para FU 1/2.	9	18
25	miti manguarob 1/2.	0.35	8.75
 <b>MAR-TE</b> Tnlgo. Marco Terán V. GERENTE - PROPIETARIO			
		<b>TOTAL \$</b>	<b>100,45</b>
AUTORIZADO POR:  RECIBIDO POR: _____		Nota: Salida la mercadería del almacén no se admite devolución	

EXCLUSIVO PARA USO ESTUDIANTIL