



# **Universidad Autónoma del Estado de México**

Centro Universitario UAEM Valle de Chalco

## **DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA LAS COMUNIDADES AGRÍCOLAS DE LA GUADALUPE GUERRERO**

# **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

***LICENCIADO EN DISEÑO INDUSTRIAL***

**P R E S E N T A**

CRUZ ACOSTA HIDALIA SARAI

**ASESOR:**

DRA. EN DIS. LUCILA HERRERA REYES

Revisor: Mtra. Ana Leticia De la Rosa Antonio

Revisor: Mtra. María Monserrat Nájera Jacome

**VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD, MÉXICO 28 DE ABRIL 2025**



**CUVCH**

**DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA LAS COMUNIDADES  
AGRÍCOLAS DE LA GUADALUPE GUERRERO**

## ÍNDICE

<b>I. RESUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>II. ANTECEDENTES DE LA TEMATICA.....</b>	<b>10</b>
2.1 Historia del biodigestor .....	10
2.2 El biodigestor en la crisis energética.....	13
2.3 Biodigestores en el sistema agrícola.....	14
2.4 Biodigestores existentes.....	15
2.5 Producción de biogás y biofertilizantes .....	17
2.6 Parametrización del biodigestor.....	18
2.7 Antecedentes de la comunidad con biodigestores.....	19
<b>III. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA .....</b>	<b>22</b>
3.1 Justificación.....	22
<b>IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>24</b>
4.1 Objetivos .....	27
4.2 Hipótesis .....	28
<b>V. MARCO TEORICO.....</b>	<b>29</b>
5.1 Biodigestor .....	29
5.2 Funciones y materiales para el biodigestor .....	41
5.3 Geo sintéticos y geomembrana.....	46
5.4 Requerimientos de uso (Necesidades del biodigestor) .....	53
5.5 Características situacionales de la comunidad para la introducción de biodigestores.....	60
5.5.1 Hidrología .....	61
5.5.2 Climatología .....	61
5.5.3 Temperatura .....	61
5.5.4 Biodiversidad .....	62
5.5.5 Periodo de cultivo.....	63
5.6 Marco legal / Normatividad .....	64
<b>VI. METODOLOGIA DE INVESTIGACION.....</b>	<b>65</b>
Investigación de campo en zona agrícola .....	67
6.2 Aspectos biológicos.....	68
6.3 Aspectos ecológicos.....	69
6.4 Biodigestor y sostenibilidad.....	70



6.5	Uso de modelos.....	73
6.6	Técnica de investigación (Aspecto social).....	74
6.6.1	Resultado de encuestas.....	75
<b>VII.</b>	<b>PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
7.1	Diseño del biodigestor .....	84
7.2	Generación de propuestas.....	85
7.3	Bocetos .....	86
7.4	Planos .....	92
7.6	Render .....	94
7.5	Modelo 3D.....	95
7.6	Costos.....	96
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS DE CONSULTA.....</b>	<b>102</b>



## **I. RESUMEN**

Los biodigestores han estado a lo largo de los años en constante evolución, grandes contenedores que almacenan residuos que a través de un proceso de análisis pueden ser útiles en la generación de combustible para aplicar tanto en la industria como en las comunidades rurales. Un problema siempre es necesario para dar una solución; en este sentido, se atendió la necesidad de una comunidad agrícola en la zona de Guerrero con la implementación de un biodigestor como sistema alternativo que brinda iluminación, y mejoró las necesidades de la comunidad además de darles un plus para tener iluminación en zonas sin cableado eléctrico. Se propuso y realizó el biodigestor a base de un diseño en el que se tomó en cuenta a la población objetivo. Se usaron materiales especiales, los cuales fueron las geomembranas de polipropileno de baja densidad que tuvieran un menor impacto ambiental y fueron aptos para un proceso anaeróbico, finalizando con un producto eficiente que ayuda en sus cultivos y a su vez brinda energía a la zona rural de Guadalupe Guerrero en el Estado de Guerrero.

## II. ANTECEDENTES DE LA TEMATICA

### 2.1 Historia del biodigestor

Hace muchos siglos se observó que el biogás se generaba de forma natural en los pantanos, donde la materia orgánica enterrada bajo el lodo sufre un proceso de digestión anaerobia gracias a las bacterias presentes. Este gas fue conocido como gas de los pantanos. Los biodigestores simulan ese mismo proceso natural, donde las bacterias transforman el estiércol en biogás y fertilizante, pero de forma controlada (RedbioLAC, 2024).

Se considera que los primeros biodigestores se realizaron en China a mediados del siglo XX. Eran biodigestores hechos de ladrillo que se asemejaban a ollas de cocina gigantes enterradas y cerradas herméticamente. Debido a la laboriosidad de la obra de este tipo de biodigestores, sus costes eran altos y hacían que esta tecnología no fuese accesible a las familias pequeñas del ámbito rural con menores recursos. Esta ecotecnología data de hace más de 200 años y actualmente se utiliza en diferentes escalas desde casera hasta industrial en diversos países. Existe una gran variedad, tipos y tamaños de biodigestores con rangos variables de vida útil; se fabrican con plástico, metal o ferrocemento, entre otros materiales, (Toral y Valdivieso, 2016).

A finales de los años ochenta se propusieron biodigestores familiares como tecnología apropiada para el desarrollo agropecuario de los países en desarrollo, donde los costes de inversión fueron fácilmente recuperados por una familia en dos o tres años, así es como se da el nacimiento de los biodigestores de bajo costo que comenzaron a instalarse en Latinoamérica y el Caribe, iniciando por Colombia, (Martí, 2011).

La actividad agropecuaria estuvo siendo impulsada desde los gobiernos como parte de la estrategia para la reducción de la pobreza. El desarrollo agropecuario descontrolado implica ampliación de frontera agrícola, nuevos asentamientos humanos en zonas de colonización, mal uso de agroquímicos y contaminación, mal manejo de los residuos orgánicos, potencialmente contaminantes de acuíferos y ecosistemas, deforestación por consumo de leña.

Entre los beneficios ecológicos, es importante mencionar la reducción de la deforestación debida a consumo de leña para cocinar. También se evita contaminación por la sustitución de los agroquímicos y se administra un buen manejo de residuos ganaderos, que en casos de alta densidad pueden llegar a contaminar acuíferos. Finalmente, al tener en cuenta el efecto invernadero y el cambio climático, se capturan las emisiones de gas metano en el biodigestor, que de otro modo irían a la atmósfera.

Una familia que pueda disponer de unos 20 kilos de estiércol fresco al día ya sea de dos o tres vacas, o de varios cerdos, o unas decenas de ovejas, y que tenga acceso a agua, aunque no sea potable, durante la mayor parte del año, puede introducir un biodigestor de bajo costo en su modo de producción obteniendo de acuerdo con diversos autores como (Bravo, 2019; Martí, 2019).

- **Energía:** El biogás es principalmente gas metano, muy parecido al gas butano y propano que se vende en garrafas (cilindros). Se puede usar para cocinar, iluminar y calentar.
- **Rendimiento de cultivos y conservación de suelos:** El biol producido es un fertilizante natural y gratuito, que mejora el rendimiento de los cultivos hasta un 30%.
- **Salud familiar:** Al quemar el biogás para cocinar no se producen humos, y tanto los pulmones de mujeres y niños, como las paredes de la cocina y

ollas dejaran de estar cubiertos de hollín negro. De esta manera se previenen enfermedades respiratorias, irritación en los ojos y otras enfermedades.

- **Medio ambiente:** Al generar cada familia su propio combustible para cocinar ya no es necesaria la tala de árboles para convertirlos en leña y se reduce la presión sobre el entorno.
- **Tecnología sostenible:** Al ser una tecnología sencilla, es accesible a cualquier persona sin conocimientos previos. Basta con instalar de forma guiada un biodigestor para conocer a fondo la tecnología, su manejo diario, su mantenimiento y modalidad de reparaciones. Todos los materiales se pueden conseguir en el mercado local, sin ser necesario importar nada del extranjero.
- **Baja inversión:** El coste de un biodigestor familiar depende de su tamaño y este depende del clima. En climas fríos, el coste en materiales es en torno a 250 dólares americanos, mientras que en climas tropicales baja a 150 dólares. La inversión se recupera en dos a tres años por los ahorros producidos en gasto en combustible, tiempo y mejora de la producción.

Finalmente, al tener en cuenta el efecto invernadero y el cambio climático, se capturan las emisiones de gas metano en el biodigestor, que de otro modo irían a la atmósfera. Baste recordar que el metano incide negativamente sobre el cambio climático 23 veces más que el dióxido de carbono.

## **2.2 El biodigestor en la crisis energética.**

La crisis energética nacional e internacional es un riesgo latente, quizás inminente, dada el agotamiento del petróleo convencional y los altos precios de los hidrocarburos. Se tiene una tendencia hacia otras fuentes de energía y la producción de gas natural y al aseguramiento del suministro de gas para las futuras generaciones, (Flores, 2019).

En este caso, se trata de generar para producir biogás a partir de un biodigestor o digestor que genere combustible, este reduce considerablemente costos de producción en caso de combinarse con otra actividad productiva y es una iniciativa impulsada por el Programa Nacional de Desarrollo de bioenergéticas. El mercado nacional de biogás es un nicho que está creciendo debido a que es competitivo contra otros combustibles. Los proyectos de bioenergéticos tienen factibilidad en muy diversos niveles: en lo humano se evitan enfermedades y plagas, en lo económico se crean empleos, pequeñas y medianas empresas y desarrollo, y en lo social no involucran la transformación de alimentos de la canasta básica, es decir, no afectan la seguridad alimentaria, (Flores, 2019).

## 2.3 Biodigestores en el sistema agrícola

La introducción de biodigestores de plástico de bajo costo, basados en el uso de láminas de polietileno soldadas en forma tubular, ha puesto esta tecnología al alcance de un número mayor de usuarios. La simpleza del proceso de instalación ha facilitado la difusión de la tecnología de agricultor a agricultor.

Avances recientes se han centrado en la integración del biodigestor dentro del sistema agrícola y han demostrado que el proceso de biodigestión produce mejoras importantes en el valor del estiércol de ganado como fertilizante para los cultivos, como también para las plantas acuáticas o los peces cultivados en estanques, (Ver figura 1).

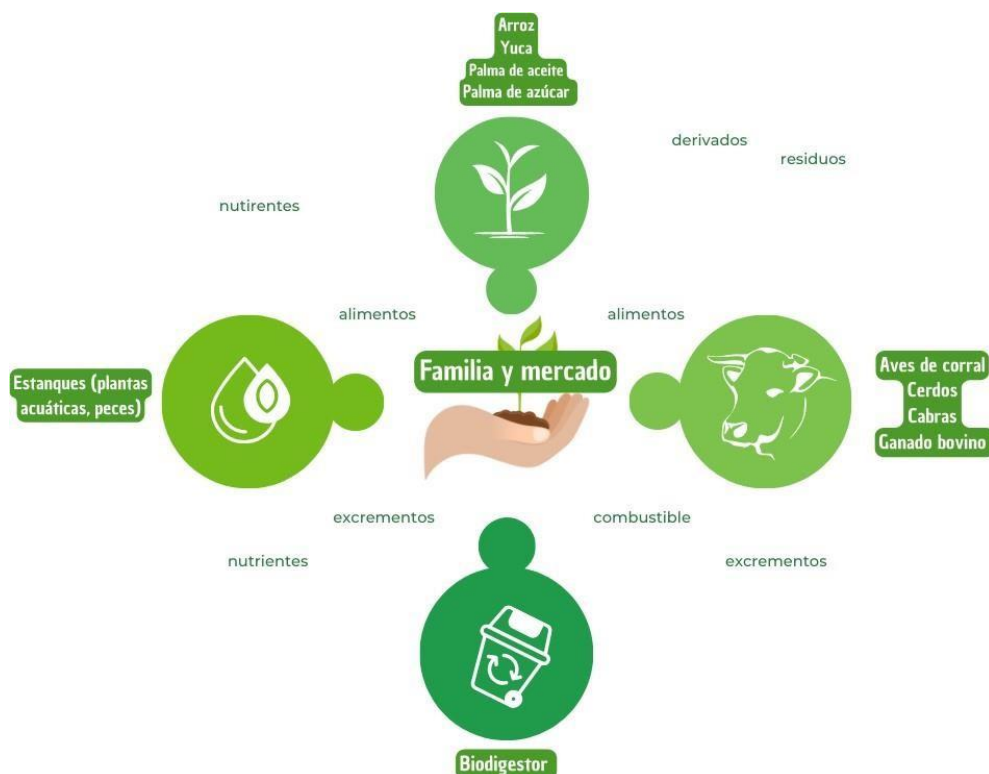


Figura 1 El biodigestor en el sistema agrícola  
Fuente: (Preston, 2019)

## 2.4 Biodigestores existentes

Los biodigestores de bajo costo. Son aquellos que no usan sistemas activos de calefacción o agitación, lo que reduce ampliamente los costos de inversión y mantenimiento. Se les conoce como biodigestores (Ver Figura 2) de bajo costo, baja tecnología o tecnología intermedia o biodigestores apropiados y son los más empleados por medianos y pequeños productores agropecuarios en el mundo, (Díaz, 2019) .



Figura 2 Biodigestor bajo costo  
Fuente: (Hilbert, 2021)

Los biodigestores domésticos: son aquellos que son capaces de abastecer las necesidades de combustible para cocinar de una familia media. Esto significa que será necesaria una producción de biogás de al menos 1000 litros de biogás por día, (Ver Figura 3)



Figura 3 Biodigestor domestico  
Fuente: (Hilbert, 2021)

Los biodigestores tubulares como señala Diaz, (2019), están constituidos de plástico y suelen tener formas cilíndricas y alargadas y al estar semienterrados, dejan visible la cúpula de biogás que se forma con durabilidad e 10 a 15 años. El plástico usado en estos biodigestores suele ser polietileno de invernadero (doble capa) en los casos más baratos (con durabilidades de entre 5-7 años si están bien protegidos) y geomembranas.

- La geomembrana puede ser de PVC o polietileno, las geomembranas de PVC pueden ser reforzadas con malla interna de nylon o sin ella.
- Los biodigestores tubulares plásticos (de polietileno tubular de invernadero) se deben construir en el lugar de la instalación.
- La instalación del sistema se hace en un solo día.

Un biodigestor (Ver Figura 4), en su funcionamiento es similar a un sistema digestivo animal: entra materia orgánica, que es digerida por bacterias, produciendo gases (biogás) y produciendo un subproducto líquido que tiene un alto valor como fertilizante, (Díaz, 2019) .



Figura 4 Biodigestor tubular  
Fuente: (Martí 2021).

La mayor parte del trabajo de desarrollo de los biodigestores ha sido enfocada desde el punto de vista de la ingeniería, con el fin de maximizar la producción de gas y su eficiencia al mejorar el diseño y la construcción del biodigestor. Se han realizado muy pocos cambios en el diseño básico del sistema de dosel (cubierta)

flotante desarrollado en India o el sistema de desplazamiento de líquidos desarrollado en China (Rivas, 2009).

## **2.5 Producción de biogás y biofertilizantes.**

El proceso de digestión anaeróbica obtiene como productos finales biogás (metano, bióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico), biosol (fertilizante sólido) y biol (fertilizante líquido).

El biogás tiene alrededor de 60% de gas metano que es un combustible de alto poder calórico y se puede emplear para la producción de energía. La misma puede ser utilizada para cocinar, generar energía eléctrica (turbinas a gas), mover motores o calentar.

Los biofertilizantes resultantes de los biodigestores se obtienen en estado (biosol) y líquido (biol) con altos niveles de macro y micronutrientes. A partir del biol se pueden obtener de forma aislada macronutrientes básicos (fósforo, nitrógeno y potasio) mediante procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa. El biol contiene cantidades importantes de hormonas de crecimiento útiles para el desarrollo vegetal como ácido indolacético, giberelinas y citoquininas entre otras, (Rivas, 2009).

El biodigestor es un procesador ecológico que recicla el estiércol de los animales, principalmente, el proveniente de los cerdos, el cual, por sus componentes, tiene mayor poder contaminante y es más difícil de degradar; disminuyendo con ello, la generación de olores ofensivos y desagradables (RedbioLAC, 2024).

La Fundación Aquae maneja información de los biodigestores como energía sostenible, los biodigestores se presentan como una tecnología que permite dar

una segunda oportunidad a los residuos y eso realiza en cada aspecto del esquema en la parametrización del biodigestor, (Vargas, 2021).

## 2.6 Parametrización del biodigestor

Martínez (2019) señala que para caracterización del biodigestor se debe emplear como agente productor de biogás es necesario determinar los parámetros que definen su forma y producción (Ver figura 5).

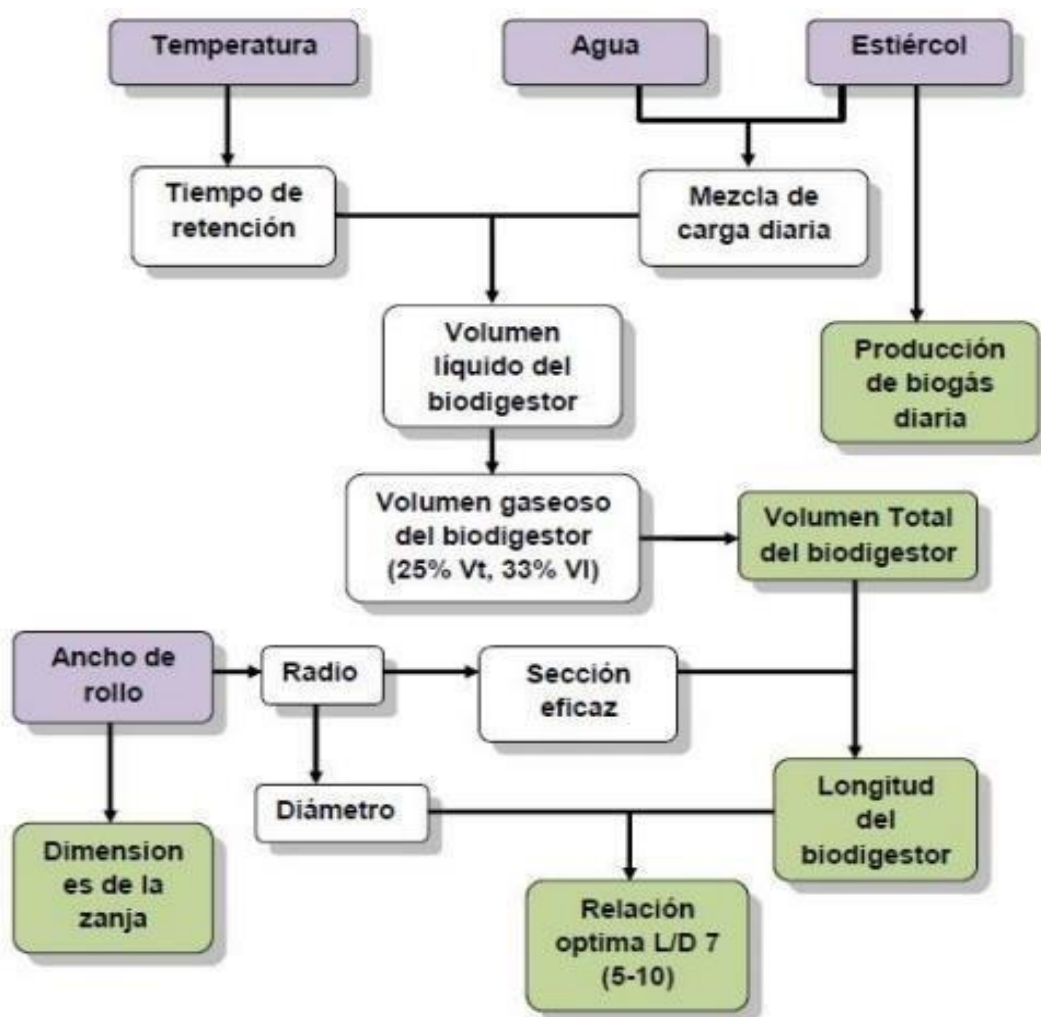


Figura 5. Esquema de un biodigestor.

Fuente: (Martí, 2011)

## 2.7 Antecedentes de la comunidad con biodigestores



Figura 6. Comunidad Guadalupe Guerrero.  
Fuente: (Cruz, 2021).

La comunidad de la Guadalupe en el municipio de Ometepec en el estado de Guerrero desde inicios el año 2020 empezaron a trabajar con un proyecto de vivero, este conlleva el uso de un biodigestor tubular. El programa, busca atender dos problemáticas: la pobreza rural y la degradación ambiental. De esta manera, sus objetivos son rescatar al campo, reactivar la economía local y la regeneración del tejido social en las comunidades, por lo que se trabaja en cuatro componentes: (Ver figura 7)



Figura 7 Objetivos del proyecto  
Fuente: (Programa ambiental sembrando vida, 2020)

Las y los productores están trabajando de la mano del Gobierno de México, cultivando maíz, cacao, hortalizas y árboles frutales y maderables en 8 estados del país durante 2019.

Productores, comuneros y pequeños propietarios, han comenzado a trabajar sus tierras, gracias a un apoyo de 5 mil pesos mensuales de los cuales 500 se destinan a una caja de ahorro. Asimismo, son apoyados con los insumos y materiales necesarios para la siembra (González, 2019). (Ver figura 8)



Figura 8 Metas cumplidas  
Fuente: (Programa ambiental sembrando vida, 2019).

Se tuvo como precedente el programa y gracias a este se pudieron acentuar las bases objetivo del proyecto fomentando el cuidado del medio ambiente, así como la ayuda a los agricultores con sus tierras.

El programa Sembrando Vida es una iniciativa del Gobierno de México que busca impulsar el bienestar social de los sembradores y mejorar el medio ambiente en Guerrero, incluyendo La Guadalupe, esto siendo un dato precedente y de conocimiento.

A continuación, redacto algunos antecedentes sobre biodigestores en La Guadalupe Guerrero:

#### Proyectos e iniciativas

- 2018: La organización no gubernamental "Desarrollo Rural Sostenible" (DRS) inició un proyecto de instalación de biodigestores en La Guadalupe Guerrero, beneficiando a 20 familias.
- 2020: El gobierno estatal de Guerrero lanzó un programa de biodigestores para 500 familias en la región.
- 2022: El programa "Sembrando Vida" del gobierno federal incluyó la instalación de biodigestores en La Guadalupe Guerrero.

#### Resultados e impactos

- Reducción de desechos orgánicos: 70%
- Generación de biogás: 300 metros cúbicos al día
- Producción de abono orgánico: 100 toneladas al año
- Ahorro en costos de energía: 30%
- Mejora de la calidad del agua: 25%

#### Desafíos y lecciones aprendidas

- Financiamiento y sostenibilidad
- Capacitación y educación para el uso adecuado
- Integración con la infraestructura existente
- Monitoreo y evaluación del impacto ambiental.

### III. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

#### 3.1 Justificación

El poder recibir luz de 4 a 6 am permitirá que los agricultores inicien sus actividades a una hora adecuada para evitar acontecimientos que pongan en peligro su salud. El biodigestor aprovechará materia orgánica residuos agrícolas y restos de cosechas que se producen dentro de la comunidad. El biol y otros residuos del proceso pueden ser utilizados como fertilizante, ya que son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Partiendo de todo esto utilizar como principal enfoque el diseño sustentable el cual se especializa en diseñar tecnologías que consuman menos energía fundamentalmente en casos del desarrollo rural y que además no agredan mediante su uso a los demás recursos tanto bióticos como abióticos.

El biodigestor funciona de acuerdo con los ciclos de la naturaleza, de modo que los residuos de cosecha en lugar de ser un desecho, es un recurso que podemos aprovechar. Por ser una tecnología sostenible ofrece muchos beneficios ambientales, sociales y económicos.

A continuación, enlistare una serie de beneficios tomando en cuenta la comunidad:

Justificaciones ambientales:

- 🌱 Reducción de la contaminación del agua y suelo por desechos orgánicos.
- 🌱 Disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- 🌱 Conservación de los recursos naturales y biodiversidad.
- 🌱 Mejora de la calidad del aire y reducción de olores.

Justificaciones sociales:

- Mejora de la calidad de vida de los habitantes de Guadalupe Guerrero.
- Generación de empleos y oportunidades económicas.
- Fortalecimiento de la comunidad y participación ciudadana.
- Acceso a energía renovable y reducción de la pobreza energética.

Justificaciones económicas:

- Ahorro en costos de energía y reducción de la dependencia de fuentes no renovables.
- Generación de ingresos por la venta de biogás y abono orgánico.
- Estímulo al desarrollo local y regional.
- Reducción de los costos de manejo de desechos.

## **IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los agricultores realizan actividades muy diurnas buscando escapar de los fuertes rayos del sol y es costumbre que inicien con la jornada del campo antes de que aparezca el sol, lo anterior, lo refirieron los jornaleros de la Guadalupe Guerrero, haciendo hincapié en que laboran en una zona sin iluminación de las cuatro a las seis de la mañana, horario en el cual se encuentran realizando la siembra y acciones agrícolas.

Como datos importantes la Organización Internacional del Trabajo (OIT) establece que la duración máxima de la jornada laboral es de 8 horas diarias. Sin embargo, es importante destacar que esta duración varía en la comunidad ya que no siempre se cumple esta jornada puesto que la exposición prolongada al sol puede causar enfermedades como el cáncer de piel, insolación y otros trastornos relacionados con la radiación ultravioleta. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición al sol es una de las principales causas de cáncer de piel en el mundo entonces ellos al estar en el sector agrario dependen de los horarios donde los rayos de luz no estén en su cúspide, teniendo en cuenta estos factores.

El biodigestor como un generador de energía, iluminará el ambiente solamente en el horario previamente mencionado hasta que salgan los rayos del sol el propósito es aprovechar eficientemente la energía durante la madrugada.

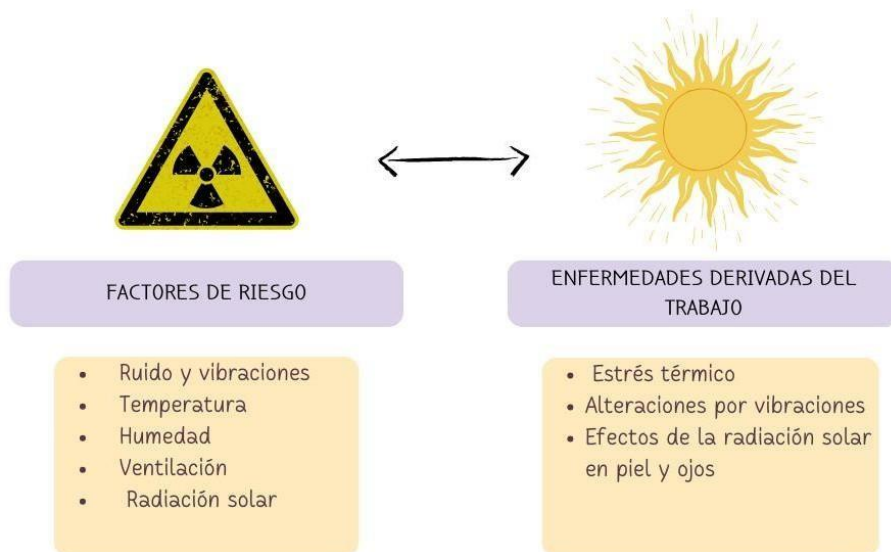
Según la FAO, la agricultura, la ganadería y la deforestación generan la tercera parte de los gases de efecto invernadero a nivel mundial. Gran parte de estas emisiones se deriva de la fermentación del estiércol y del uso de fertilizantes

(Aqua, 2023). En este sentido, es importante utilizar los residuos como el abono y desechos animales para alimentar el biodigestor y con ello la producción de energía que ilumine cuando sea necesario, (Aqua, 2023).

La mayoría de los expertos en medio ambiente coinciden en que la concentración de dióxido de carbono y otros gases que producen un efecto invernadero ha aumentado en años recientes como resultado de la actividad humana. Este fenómeno es responsable del calentamiento global y efectos derivados del mismo, como las sequías, los fenómenos meteorológicos extremos, el aumento en el nivel del mar o los cambios en los ecosistemas que afectan la vida animal y vegetal, (Flores, 2019).

De acuerdo con Sánchez (2011) los efectos para la salud de los trabajadores atribuibles factores de riesgo pueden ser agudos (ver tabla 1), subagudos o crónicos, pero en general son los inespecíficos, de aparición a largo plazo, que dan lugar a cuadros de enfermedad derivada del trabajo, los que tienen una repercusión más importante.

Tabla 1. Efectos para la salud



Fuente: Fundación para la prevención de riesgos laborales, (2012).

Los efectos secundarios por exposición solar de forma prolongada o recurrente, afecta principalmente cara, cuello y brazos; estas son las áreas que debe recibir una mayor cantidad de protector solar y es ahí donde se debe tener un mayor cuidado. Por lo anterior, es importante que los trabajadores del campo puedan establecer su horario de actividades agrícolas recurriendo a la energía e iluminación provista por el biodigestor y cuidar su salud, (Tarin, 2012).

Al exponerse de forma prolongada al sol, se pueden presentar quemaduras, pueden generar dolor de cinco a 48 horas después de la exposición, la sintomatología en quemaduras leves consiste en enrojecimiento de la piel, cuando se trata de quemaduras de segundo grado aparecen ampollas y dolor de leve a agudo, (Tarin, 2012).



Figura 9 Exposición al sol en jornada de campo  
Fuente: (Cruz, 2021)

## 4.1 Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un biodigestor utilizando una geomembrana biocompostable para producir energía eléctrica a partir del biogás, con el fin de abastecer las zonas agrícolas de la comunidad de Guadalupe, Guerrero, y así facilitar el trabajo de los agricultores durante las horas sin luz solar.

### Objetivos Específicos

- 🌱 Realizar un análisis de las potencialidades de los biodigestores.
- 🌱 Evaluar las características de la geomembrana.
- 🌱 Diseñar y desarrollar un cuestionario.
- 🌱 Crear un concepto de diseño para el biodigestor.
- 🌱 Generar una visualización (render) de la propuesta de biodigestor.
- 🌱 Crear un prototipo en impresión 3D del biodigestor.

Este proyecto busca diseñar un biodigestor que utilice geomembrana biocompostable para producir energía eléctrica a partir de biogás, con el fin de abastecer las zonas agrícolas de la comunidad de La Guadalupe Guerrero, rompiendo con la dependencia de fuentes energéticas externas y fortaleciendo la autonomía de los agricultores. Esto se alinea con la crítica de Marx a la alienación y la explotación del trabajo, ya que:

"...la maquinaria [en este caso, el biodigestor] no es más que una herramienta para reducir el trabajo necesario y aumentar el tiempo disponible para el desarrollo humano" (Marx, 1867, Capítulo XV).

Al proporcionar una fuente de energía renovable y autónoma, este proyecto busca:

- Reducir la explotación del trabajo agrícola, permitiendo a los agricultores trabajar de manera más eficiente y segura durante las horas sin luz solar.
- Fortalecer la propiedad comunitaria y el control sobre los medios de producción, promoviendo la autosuficiencia y la soberanía energética.

Esto se inspira en la idea de Marx de que:

"...la propiedad comunitaria es la forma más alta de propiedad, porque es la forma en que los individuos pueden desarrollar libremente sus facultades" (Marx, 1844, Manuscritos económicos y filosóficos).

## **4.2 Hipótesis**

La implementación de un biodigestor que genere energía a partir del tratamiento de materia orgánica en la comunidad de La Guadalupe Guerrero permitirá contar con luz para iluminar los campos de cultivo y aumentar ya sea la producción para los agricultores en sus labores durante las horas sin luz solar, mejorando significativamente la eficiencia y productividad de las actividades agrícolas.

## V. MARCO TEORICO

### 5.1 Biodigestor

¿Qué es?

Los residuos orgánicos, cuando no son tratados, se convierten en una fuente de infección y en un problema deshacerse de ellos. En la agricultura y ganadería a pequeña escala se ha venido tratando los residuos para transformarlos en abonos naturales, y en algunos casos como combustible. Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, principalmente estiércol, para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante natural) (SistemaBiobolsa).

Un biodigestor es un tanque cerrado donde se genera gas metano y fertilizante orgánico a partir de la fermentación anaeróbica de materia orgánica. El fundamento biológico es la descomposición de la materia orgánica por la acción de bacterias mediante hidrólisis, acidificación, A cetogénesis y metanogénesis, (Castro, 2024).

La implementación de un biodigestor en la zona agrícola de la Guadalupe Guerrero es una estrategia innovadora para abordar los desafíos energéticos y ambientales en la región. Este marco teórico presenta los conceptos clave y teorías que sustentan la implementación de un biodigestor en este contexto.

## Conceptos clave

- Biodigestor: Un sistema que convierte residuos orgánicos en biogás (metano y dióxido de carbono) a través de la digestión anaeróbica (Pasetti, 2016).
- Energía renovable: Fuente de energía que se renueva naturalmente, como la energía solar, eólica y biogás.
- Desarrollo sostenible: Enfoque que busca equilibrar el crecimiento económico, la protección ambiental y el bienestar social.

En resumen, la implementación de un biodigestor en la zona agrícola de la Guadalupe Guerrero puede ser una solución efectiva para abordar los desafíos energéticos y ambientales, siempre y cuando se consideren los desafíos y se tomen medidas para superarlos.

También tomando en cuenta agregar una sección donde vimos los diversos aspectos, sociales y económicos de porque implementar nuestro biodigestor en la comunidad.

## Sociales

- Mejora de la calidad de vida: El biodigestor puede proporcionar energía limpia y reducir la dependencia de combustibles fósiles, mejorando la salud y el bienestar de la comunidad.
- Generación de empleo: La implementación y mantenimiento del biodigestor puede crear empleos directos e indirectos en la comunidad rural.
- Educación y conciencia ambiental: Puede fomentar la educación y conciencia ambiental en la comunidad sobre la importancia de la gestión de residuos y la energía renovable.
- Participación comunitaria: Puede fomentar la participación comunitaria en la toma de decisiones y la gestión de los recursos.

## Económicos

- Reducción de costos energéticos: Pueden reducir los costos energéticos para las familias y empresas rurales.
- Desarrollo económico local: La implementación puede contribuir al desarrollo económico local al crear empleos y estimular la economía local.
- Reducción de la pobreza: Ayudar a reducir la pobreza en la comunidad rural al proporcionar acceso a energía limpia y generación de ingresos.

También buscar incluir beneficios para la Comunidad Rural como:

- Acceso a energía limpia y confiable
- Reducción de la contaminación ambiental
- Mejora de la salud y bienestar
- Generación de empleos y ingresos
- Desarrollo económico local

Como apartado extra justamente mencionando al programa sembrando vida en políticas públicas además de los modelos de negocios sostenibles que vienen de la mano con el proyecto:

- Apoyo financiero para la implementación de biodigestores
- Regulaciones y estándares para la gestión de residuos y energía renovable
- Programas de educación y capacitación para la comunidad rural
- Incentivos fiscales para la inversión en biodigestores
- Negocio de servicios: Ofrecer servicios de implementación, mantenimiento y reparación de biodigestores.
- Modelo de negocio de cooperativa: Crear cooperativas para la gestión y mantenimiento del biodigestor.

- Modelo de negocio de financiamiento: Ofrecer financiamiento para la implementación del biodigestor.

Recomendaciones futuras incluyen realizar estudios más detallados sobre la viabilidad económica y técnica, desarrollar modelos de negocio sostenibles para la implementación de biodigestores, investigar nuevas tecnologías y materiales para mejorar la eficiencia y reducir costos, y establecer políticas y regulaciones que apoyen la adopción de tecnologías sostenibles en la región.

## 5.1 Tipos de biodigestor

### Biodigestores de flujo discontinuo

- La carga del total del material que se fermentará se realiza al principio del proceso y la descarga del efluente se lleva a cabo cuando el proceso finaliza. De manera general se necesita de mayor mano de obra y de un espacio en específico para guardar la materia prima en caso de que se produzca de manera continua y de un depósito de fuentes alternativas o de gas para suplirlo, (ver figura 10).



Figura 10: Biodigestor de flujo discontinuo

Fuente: Martí Herrero J. 2019

### Biodigestores de flujo semicontinuo

- La carga del material se fermenta y la descarga del efluente se llevan a cabo de forma continua o por baches pequeños durante todo el proceso. Los

biodigestores semicontinuos se utilizan para la purificación del agua contaminada a través de distintas fosas, (ver figura 11).



Figura 11 Biodigestor de flujo semicontinuo

Fuente: Martí Herrero J. 2019

### Biodigestores de flujo continuo

- Se utiliza normalmente para tratar aguas residuales. Suelen ser de corte industrial grande con sistemas comerciales para la gestión y el control del proceso, (Ver figura 12).



Figura 12 Biodigestor de flujo continuo

Fuente: Martí Herrero J. 2019

De acuerdo con Herrero (2019), existen tres clases de biodigestores de flujo continuo:

- De cúpula fija (chino).
- De cúpula móvil o flotante (hindú).
- De salchicha, tubular, Taiwán, CIPAV o biodigestores familiares de bajo costo.

### **5.1.2 Usos del biodigestor**

Su importancia radica en el aprovechamiento de los desperdicios para producir energía renovable y de bajo costo. El fertilizante que se produce es excelente y tal vez más fácil de aprovechar que el gas.

El biodigestor procesa los residuos orgánicos y acumula en un compartimento todo el gas obtenido, es lo que se denomina comúnmente Biogás siendo absolutamente apto para abastecer cualquier artefacto que se tenga en la casa o en el campo, llámense estos: cocina, horno, termo tanque, estufas, lámparas o cualquier otro que funcione con gas envasado o de red.

Se puede decir que México ha logrado impactos similares a los de un programa nacional de biogás, pero sin contar con uno. La ONG (IRRI) y la empresa social (BIOBOLSA) están obteniendo resultados similares a los programas nacionales de África y Asia, con más de 1000 sistemas instalados por año, (Sistema bio, 2018).

### **5.1.3 Biogás, ventajas y desventajas.**

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

La biogasificación se puede designar alternativamente como fermentación. El término fermentación de metano se puede entender como la destrucción del gas mediante la fermentación microbiana en la digestión anaeróbica no siempre hay

formación de metano, sin embargo, los términos se usan indistintamente, (Ver tabla 2).

Tabla 2 Características generales del biogás

<b>Composición</b>	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido Energético</b>	6.0 – 6.5 Kw h m <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de consumible</b>	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6 – 12% de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión Crítica</b>	74 – 88 atm
<b>Temperatura Crítica</b>	-82.5°C
<b>Densidad Normal</b>	1.2 kg m <sup>-3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
<b>Masa molar</b>	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: (Fao, 2019).

### Ventajas

- Es una energía renovable y sustentable.

La disponibilidad de biogás puede ayudar a reducir la demanda de leña y por tanto tener un impacto positivo en la conservación de la biodiversidad.

- Aprovecha la producción natural del biogás.
- Es posible utilizar los productos secundarios como abono o fertilizante.

La instalación de un biodigestor permite el reciclaje de los desechos orgánicos, reduciendo así la contaminación ambiental y obteniendo productos útiles.

- Impide la contaminación.

El biogás representa una fuente de energía eficiente y económica, principalmente en zonas donde la disponibilidad de otras fuentes de energía no es accesible.

- 🌱 Eliminación de los residuos (heces, orina.)

Mediante los biodigestores se obtienen fertilizantes orgánicos sólidos (biosol) y líquidos (biol). Estos fertilizantes tienen un menor impacto ambiental y reducen los costos de la producción agrícola.

- 🌱 Se eliminan en un 80% los olores indeseables.

Al permitir un manejo adecuado de los desechos orgánicos se reducen los riesgos que estos representan para la salud. Se ha determinado que el 85% de los patógenos no sobrevive al proceso de biodigestión, (SistemaBiobolsa).

## **Desventajas**

- 🌱 Disponibilidad de agua

El sistema es exigente en cuanto a disponibilidad de agua, ya que se requiere una mezcla. Por otra parte, el biodigestor debe estar cerca de la fuente de materia prima y del sitio de consumo del biogás.

- 🌱 Temperatura

El biodigestor debe mantener una temperatura constante cercana a los 35 °C y dentro de un rango entre los 20 y 60 °C. Por tanto, se puede requerir un aporte externo de calor.

- 🌱 Subproductos dañinos

Se puede producir ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), que es tóxico y corrosivo, y siloxanos derivados de silicona contenidos en productos cosméticos y en la mezcla de desechos orgánicos.

- 🌱 Acumulación de desechos

Se requiere acumular los desechos cerca del biodigestor, lo cual trae consigo problemas logísticos y sanitarios que deben encararse.

#### Riesgos de explosión

Al tratarse de un sistema generador de un gas combustible, implica un cierto riesgo de explosiones si no se toman las debidas precauciones.

#### Costos

Aunque el mantenimiento y manejo del biodigestor es relativamente económico, los costos de instalación y construcción iniciales pueden ser relativamente altos.

### **5.1.6 Carga general, tiempo de retención y carga diaria.**

La carga se constituirá por la mezcla de un 20 a 25 % de material orgánico y de un 80 a 75% de agua. Parte de este agua puede reemplazarse por el líquido (efluente) tratado que sale del biodigestor también conocida como biol, y de esa forma producir más biogás a expensas de obtener menos fertilizante.

De acuerdo con la temperatura ambiental, así será el tiempo de retención de los materiales añadidos al biodigestor. En la siguiente tabla se indica el tiempo de retención de acuerdo con la temperatura. (ver tabla 3)

Tabla 3 Tiempos de retención dependiendo la región

Región característica	Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: (Ginproc, 2021).

Se debe dejar un espacio de “aire” en el biodigestor de un 25% (el equivalente a un 1/4) en tanque del biodigestor, por lo que solo se utilizará el 75% de la capacidad de este, al cual llamaremos volumen de trabajo (VT). El tubo de salida se dispondrá a modo de rebosadero (Orificio de desagüe), de tal forma que siempre quede a un 1/4 de la capacidad para la fase gaseosa, (Martin, 2022).

La carga de mezcla que se debe adicionar diariamente se calcula como se indica a continuación:

$$VT = CTT \times 0,75$$

$$CD = VT/TR$$

Siendo:

- **VT:** volumen de trabajo en Litros.
- **CTT:** capacidad total del tanque en Litros.
- **CD:** carga diaria de mezcla que se debe añadir.
- **TR:** tiempo de retención en días (ver tabla).

En clima cálido, para un biodigestor de 120 litros, el volumen de trabajo será 90 litros ( $120 \text{ L} \times 0.75 = 90$ ) y la carga diaria de mezcla será 4.5 litros ( $90\text{L}/20=4.5\text{L}$ ) siendo así este es un punto importante ya que con esta información tomamos medidas y volúmenes para el proyecto.

### **5.1.8 Funcionamiento.**

El biodigestor inicialmente deberá llenarse (los 3/4) con la mezcla de materia orgánica y agua en pocos días para evitar que se liberen olores de forma excesiva. Luego del llenado no se adicionará más mezcla hasta que haya comenzado bien la producción de metano y luego mantenido por varios días. Posterior a que esto

ocurra se le adicionará diariamente la carga que se calculó para el biodigestor, siempre por la tapa en la parte superior del digestor, (Martin, 2022).

### 5.1.9 Componentes de un biodigestor

De acuerdo con Moreno 2011 se consideran los siguientes componentes:

- 🌱 **Reactor** El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos.
- 🌱 **Entrada del afluente.** Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.
- 🌱 **Salida del efluente.** En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción de este. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).
- 🌱 **Sistema de gas** El proceso de digestión anaerobia produce de 400 a 700 litros de gas por cada kilogramo de materia orgánica degradada, según las características del influente. El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico.
- 🌱 **Cúpula de gas.** Habitualmente, la parte superior del digestor, llamada domo o cúpula o campana de gas se utiliza para almacenar el biogás que se genera.
- 🌱 **Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.** La válvula de seguridad y la rompedora de vacío van colocadas sobre la misma tubería, pero cada una trabaja independientemente.

- **Almacenamiento del gas.** El gas producido en la digestión anaeróbica se puede almacenar en un gasómetro que está separado del digestor, o bien, en el mismo digestor en la parte superior de éste.

## **Materiales**

El reactor y la entrada de materiales.

- Tapón de limpieza sanitario
- Segmento corto de tubo
- Tubo PVC sanitario

Para la salida del efluente:

- Adaptador de tanque.
- Tubo PVC para la tubería de salida del efluente.
- Adaptador de tanque para conectar la válvula.
- Válvula de esfera PVC Para la salida inferior del efluente más pesado.

Para la salida del biogás (en orden):

- Conector de tanque.
- Válvula de esfera con roscas.
- Adaptador para manguera.
- Manguera.

## 5.2 Funciones y materiales para el biodigestor

A nivel mundial, numerosos sistemas de producción de biogás se basan en el tratamiento de efluentes provenientes de sistemas pecuarios, agroindustrias o cloacales. En las grandes plantas de biogás resulta común encontrar digestión entre residuos de agroindustrias y cultivos energéticos.

Sin embargo, hoy, frente al debate de si es mejor sembrar tierras para hacer energía o para producir alimento, se han comenzado a emplear otros sustratos ricos en energía y aptos para ser considerados codirectores, como los subproductos con escaso valor comercial o desperdicios de algunas industrias, como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, los residuos de las industrias alimenticias y otros, (Montenegro, 2016).

Materia Organica Utilizable.

- Estiércol fresco o purines de animales herbívoros u omnívoros (ejemplo: cerdos).
- Residuos de cocina y restos de alimentos, (excepto de cítricos).
- Aceite de cocinar usado (solo el 5%).
- Restos de vegetales de plaza de mercado.
- Césped recién cortado -mezclado con otros materiales.
- Aserrín (serrín) “viejo” -mezclado con otros materiales.

Existen otras materias que no son recomendables debido a que son más difíciles de degradar o no aptos para un biodigestor de estas características. En general no deben utilizarse residuos de frutas cítricas, semillas o granos enteros, paja o tallos de cereales, virutas de madera, hojas secas, restos de podas, excremento de animales carnívoros como gatos o perros y tampoco materia fecal humana. Están

fuera de toda consideración para este uso los huesos, piedras, vidrio, metal, plástico y cascarilla de arroz, (Herrero, 2019).

La producción de biogás depende del contenido de proteínas, hidratos de carbono y grasas que forman la biomasa o los sustratos que se cogen. La mayor cantidad de biogás se obtiene de las grasas, pero el mayor porcentaje de gas metano (CH<sub>4</sub>) se obtiene de las proteínas (71%). La menor producción de metano se obtiene de los hidratos de carbono. Por estas razones es muy importante lograr una mezcla equilibrada de sustratos en donde se produzca la mayor cantidad de biogás, pero también el mayor contenido porcentual de gas metano. La producción de biogás y la cantidad de CH<sub>4</sub> dependen fundamentalmente de la composición de la biomasa, (Aqua, 2023).

## **Sustratos**

En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO), como puede apreciarse en la Tabla 4

- Los sustratos de clase 1 pueden degradarse eficientemente en digestores tipo Batch o por lotes.
- Los sustratos de la clase 2 son degradados de manera eficiente en digestores mezcla completa de operación continua.
- Por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor, los sustratos de clase 3 deben tratarse con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio.

- En cuanto a los sustratos de clase 4, debido a su alto contenido de DQO deben ser degradados en digestores aerobios intensivos para mayor eficiencia.

Tabla 4. Clasificación de sustratos para la Digestión Anaeróbica.

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
<b>Sólido</b>	1	Basura doméstica Estiércol Sólido Restos de Cosecha	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
<b>Lodo altamente contaminado, alta viscosidad</b>	2	Heces Animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
<b>Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)</b>	3	Heces animales de cría y levante diluido con agua de lavado Aguas residuales de mataderos	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
<b>Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión</b>	4	Aguas residuales agroindustriales Aguas negras	5-18 g/l DQO 4-500 g/l DQO

Fuente: (Esguerra, 1989).

La degradación o descomposición de la materia orgánica es compleja y difícil de tratar en detalle, todos los problemas que se presentan. Simplificando esta situación, las fuentes carbonadas más utilizadas por los microorganismos quimio tróficos son los glúcidos o carbohidratos y de estos compuestos orgánicos, principalmente las hexosas, las cuales son degradadas por diferentes vías metabólicas.

Los fragmentos que alimentan estos procesos cíclicos, por una parte, dan origen a cadenas carbonadas que participan en la formación de nuevas células microbianas y, al mismo tiempo, son usados en las oxidaciones y reducciones biológicas que están ligadas a la síntesis de moléculas ricas en energía. Si estos procesos tienen lugar en un medio con niveles de oxígeno ilimitado, corresponden

a procesos de oxidación biológica o respiración aeróbica con desprendimiento de CO<sub>2</sub> y de energía equivalente a la mineralización total del sustrato orgánico utilizado por los microorganismos, (Santos, 2011).

A continuación, se indican las características de los sustratos más comunes aprovechados en países de clima tropical para la producción de biogás y energía (Ver tabla 5).

Tabla 5 Aprovechamiento de residuos en biodigestores para la producción de energía.

<b>Sustratos más comunes</b>	<b>Masa seca (%)</b>	<b>Masa volátil (%)</b>	<b>Biogás (m<sup>3</sup>/t)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (%)</b>
<b>Purín de cerdo</b>	3-5	90-98	25	60-70
<b>Estiércol de ganado vacuno</b>	6-8	85-98	20	60
<b>Gallinaza pura - mezclada con cascarillas</b>	25-55	50-65	50-150*	55-65
<b>Suero de leche</b>	2-4	99-100	25-40	60-65
<b>Pasto</b>	25-50	70-95	100-180	55-60
<b>Restos de restaurantes (comidas)</b>	10-25	85-95	70-150	60-65
<b>Grasas de cocinas</b>	20-50	95-99	100-180	65-70
<b>Restos de panaderías</b>	15-35	90-99	80-150	65-70
<b>Vinazas</b>	4-8	75-90	30-60	55-65

Fuente: (Arellano, 1991).

Por último, encontramos los usos de residuos de vegetación que para la investigación son los más importantes ya que de la mayoría de los que se encuentran en la siguiente tabla (Ver tabla 6)

Tabla 6 Producción de biogás a partir de residuos vegetales.

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Relación C/N	Volumen de Biogás	
			m <sup>3</sup> /Ton	m <sup>3</sup> /ha
<b><i>Cereales (paja)</i></b>				
Trigo	3.3	123: 1	367	1200
Maíz	6.4	45:1	514	3300
Cebada	3.6	95:1	388	1400
Arroz	4.0	58:1	352	1400
<b><i>Tubérculo (Hojas)</i></b>				
Papas	10.0	20:1	606	6000
Betarragas	12.0	23:1	501	6000
<b><i>Leguminosas (paja)</i></b>				
Porotos	3.2	38:1	518	1650
Habas	4.0	29:1	608	1400
<b><i>Hortalizas (hojas)</i></b>				
Tomate	5.5	12:1	603	3300
Cebolla	7.0	15:1	514	3600

Fuente: (Arellano, 1991).

### 5.3 Geo sintéticos y geomembrana

¿Qué son los geos sintéticos? De acuerdo con International Geosynthetic society, (2021).

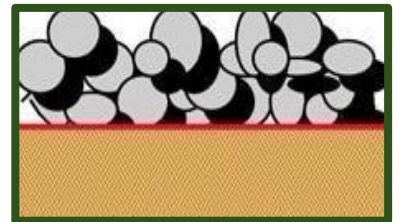
Definición:

Los geos sintéticos son materiales, principalmente fabricados con productos derivados del petróleo, originalmente usados en aplicaciones de ingeniería geotecnia, utilizados para mejorar, cambiar o mantener las características del suelo con el que interactúan.

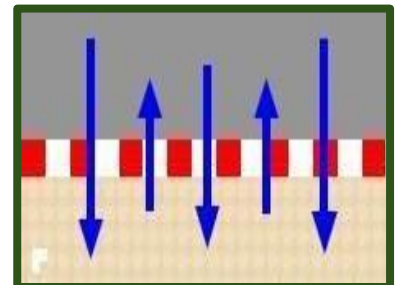
#### ¿Para qué sirven los geos sintéticos?

Los geos sintéticos cumplen varias funciones a manera de ubicarlos adecuadamente, podemos dividirlos en:

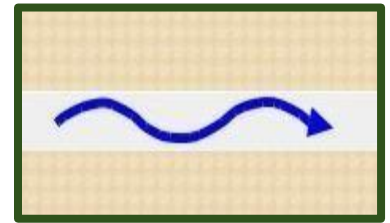
Separación: es la función que por medio de geo sintéticos porosos y flexibles, previenen la mezcla de dos estratos o materiales diferentes evitando la contaminación entre ellos, conservando las cualidades físicas y mecánicas de cada uno.



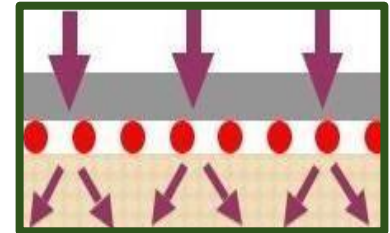
Filtración: es la función que por medio de geo sintéticos porosos, flexibles y permeables, en presencia de agua entre dos estratos o materiales diferentes, permite el paso del fluido, evitando la migración de finos o que las partículas se mezclen o contaminen entre sí, aun estando sometidos a un trabajo de carga o compresión



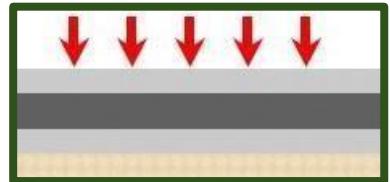
Drenado: a través de geo sintéticos, se permite un régimen de flujo entre dos estratos, transportando fluidos o gases a través del plano del geo sintéticos aun sometido a un trabajo de compresión o carga.



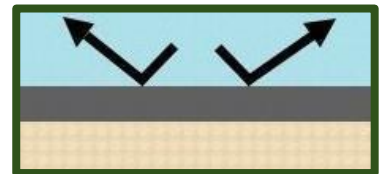
Refuerzo: Es la función que, por medio de geo sintéticos, se aumenta la capacidad de carga de un terreno, teniendo como resultado una superficie más estable; esto se logra por medio de la distribución de cargas, resultado de la interacción o fricción a la que son sometidos los geos sintéticos.



Protección: Es la función de recibir, absorber y mitigar una fuerza ejercida sobre una superficie contra los elementos que puedan ocasionar un daño a ésta.



Impermeabilizar: Es la función que por medio de la cual se coloca una frontera o barrera impermeable, aislando dos estratos diferentes evitando la impregnación de uno con el otro.



## ¿Qué tipos de geo sintéticos existen?

Existe una gran variedad de productos geo sintéticos que se han desarrollado para cumplir las funciones anteriormente mencionadas, y la tendencia en su uso ha ido en aumento y seguirá incrementándose en razón a la innovación tecnológica y la sustentabilidad, (International Geosynthetic Society. , 2021).

Los geos sintéticos más conocidos y utilizados son:

### Geomembranas

En concepto podemos decir que barreras sintéticas de muy baja permeabilidad, fabricadas a base de un polímero termoplástico, utilizadas principalmente para revestir superficies. su principal función es contener materiales y/o sustancias, previniendo el flujo de líquidos y vapores fuera de ésta.

Clasificación (por su componente principal)

- Polietileno (HDPE, LLDPE, vldpe) br cloruro de polivinilo flexible (f-pvc) br
- Polipropileno (FPP, FPP-r)
- Polietileno clorosulfonadas (cspe-r)
- Terpolímero de etileno propileno dieno (epdm, epdm-r)
- Aleación interpolímero de etileno (eia-r)



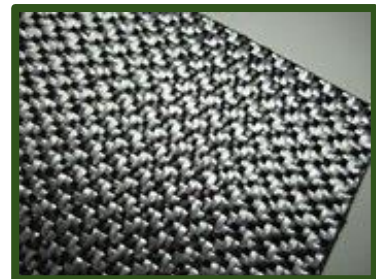
## Geotextiles.

Son textiles que, usados con el suelo, roca o cualquier material terreo, mejoran el desempeño y reducen el costo de las obras civiles. se clasifican, en general en:

- No tejidos (Non-woven)
- Tejidos (Woven)

Aplicaciones más usuales:

- Drenaje subsuperficial
- Filtro bajo enrocados o sistemas rígidos
- Construcción de barreras contra sedimentos
- Capas de reasfaltados
- Estabilización de vías para vehículos y vías férreas
- Suelos mecánicamente estabilizados (MSE)
- Taludes reforzados o muros de contención
- Cimentación de terraplenes sobre suelos blandos



## Geomallas.

Las geomallas son elementos compuestos por filamentos, que pueden ser extruidos (una sola pieza), tejidos o soldados, que forman un entramado y que en combinación a un elemento de relleno ofrece el trabajo de tensión. Su función es aumentar la capacidad de carga de un terreno; esto se logra por medio de la distribución de cargas, resultado de la interacción o fricción a la que es sometido, (International Geosynthetic Society. , 2021).

Tipos de Geomallas:

- Uniaxial
- Biaxial
- Triaxial



Aplicaciones comunes:

- Refuerzo de cimentaciones en suelos blandos
- Estabilización de suelos de cobertura sobre geomembranas
- Para incrementar la capacidad de carga
- Refuerzo de caminos pavimentados y no pavimentados
- Refuerzo de plataformas de construcción
- Estabilización y construcción de terraplenes y presas de tierra
- Reparación en taludes y deslizamientos

## Geo redes

Son elementos tridimensionales que en su estructura presentan un área hidráulica, que permite el paso de un fluido entre dos estratos a compresión o carga.



## Geos compuestos

Es la unión de dos o tres geos sintéticos (excepto los GCL que son la unión de un geotextil con un material natural, arcilla expansiva), mismos que combinan sus múltiples funciones en su aplicación.



## Geo mantas / Biomantas / Geo esteras.

También llamadas mantas para control de erosión son sistemas de control de erosión superficial. Sus elementos laminares, de dos o tres dimensiones, que su estructura es utilizada para el almacenamiento de material orgánico, que propicia

la vegetación y ésta hace la función de confinamiento, o que contiene los finos de un sustrato.

### Clasificación

- Degradables
- Fotodegradables
- Biodegradables
- Permanentes



### Geo celdas

Estructuras tridimensionales, en forma de panel, de alta resistencia, comunicadas entre sí, y que realizan la función de confinamiento. Su función es reforzar el suelo por medio del confinamiento lateral de las partículas de material y aumentando su resistencia a la tensión, formando una placa rígida, (International Geosynthetic Society. , 2021).

### Geomembrana de PVC

Las Geomembranas de PVC-P (Policloruro de Vinilo Flexible) son láminas flexibles fabricadas a partir de resinas sintéticas, aditivos y plastificantes, cuya flexibilidad le permite adaptarse con facilidad a la forma del terreno o a cualquier superficie.

- Función: Barrera y revestimiento
- Aplicaciones: Impermeabilización de edificios, estructuras y residuos

### Geomembrana de TPO

La Geomembrana de TPO es una lámina impermeabilizante sintética cuya composición está basada en una poliolefina termoplástica (TPO) producto de un avanzado proceso de polimerización, combinada con una malla de poliéster



(reforzado). Es un material idóneo para almacenaje de agua potable y para techos o cubiertas

Es apta para la impermeabilización de depósitos de agua potable, de lagos, balsas y canales, sean o no de agua potable, así como para la impermeabilización de cubiertas, techos o losas en cualquier edificación.

- Función: Barrera y revestimiento
- Aplicación: Impermeabilización

## **Geomembrana de polietileno y polipropileno.**

Las geomembranas de poliolefinas, pueden ser en general geomembranas de polietileno o geomembranas de polipropileno. Se producen a base de polímeros obtenidos mediante la polimerización de olefinas.

Las geomembranas poliolefinas se producen con base en cuatro tipos de materiales: polietileno de alta densidad PEAD / HDPE, polietileno lineal de baja densidad LLDPE, polietileno de muy baja densidad VLDPE y polipropileno PP.

Están especialmente diseñadas para aplicaciones de contención segura e impermeabilización. Desde el recubrimiento de embalses, canalizaciones, piletas y estructuras de tratamiento de agua similares; hasta el encapsulado y almacenamiento de residuos domésticos, industriales o mineros como protección ambiental, (International Geosynthetic Society. , 2021).

Para finalizar en este apartado se tomó en cuenta siendo de suma importancia los tipos de geomembranas existentes, así como su utilidad para que fueran usadas en el proyecto.



## 5.4 Requerimientos de uso (Necesidades del biodigestor)

Se adaptó una tabla de requerimientos de acuerdo con Rodríguez 1985 adaptando a los requerimientos de nuestro biodigestor optimizando lo que se necesitó.

Practicidad	• Función -Relacion del biodigestor
Conveniencia	• Comportamiento del usuario con el biodigestor
Seguridad	• Riesgos para el usuario en el manejo del bio.
Mantenimiento	• Cuidados, conservacion del producto, elementos e insumos
Reparación	• Posibles refacciones
Manipulacion	• Biomecánica del biodigestor
Antropometria	• Relacion dimensional del biodigestor (cantidad de gente, tamaño, filtros, tratos de agua)
Ergonomia	• Adecuacion del biodigestor, Usuario (Utensilios adecuados para el usuario)
Percepción	• El biodigestor y sus componentes
Transporte	• Posibles ubicaciones del biodigestor

Tabla adaptada de requerimientos de uso para proyectos de diseño  
Fuente: Rodríguez Manual del diseño Industrial, 1985.

## **Practicidad**

Se considerará el balance de materia y energía planteado para el diseño del sistema, conforme en lo presentado en el diagrama de flujo de proceso.

El balance de materia incluirá flujos máxicos y equivalencias volumétricas para cada fase de las corrientes de proceso. El balance de energía considerará las entalpías para cada corriente donde se involucre la generación o adición de calor, (SAGARPA, 2010).

## **Conveniencia**

El usuario tendrá un comportamiento de acuerdo con los conocimientos que tenga o adquiera para el manejo del biodigestor.

### Asistencia técnica

Este componente da sustento técnico a otros componentes. Por un lado, este componente debe aportar las herramientas a los usuarios de biodigestores para que puedan aprovechar completamente la tecnología, tanto en el uso de biogás y del fertilizante, como en operación y mantenimiento (Herrero, 2019).

## **Seguridad**

### Restricción del Acceso

Se deberá restringir el acceso al digestor desde el momento de la excavación de la zona para proteger a la superficie ya preparada e impermeabilizada, evitando que se dañe la geomembrana instalada.



## Cerco Perimetral

Una vez instalado el digestor se debe instalar un cerco perimetral (por ejemplo, de malla ciclónica, reja o paredes), para evitar que personal no autorizado o animales accedan al digestor. Deberá instalarse un cerco perimetral, que por lo menos sea de 2 metros de altura, y se colocaran letreros de aviso de restricción a personas que no estén capacitadas para su manejo.

## Señalizaciones

Se debe de dar una señal de acceso restringido en el digestor y el sistema de manejo de biogás

## Mantenimiento

Diseñar el biodigestor para facilitar el mantenimiento y reparación

Se deberá realizar inspecciones periódicas del estado de la cubierta, buscando detectar fugas, rasgaduras y daños en general, realizar una remoción de basura y escombros arrastrados por el viento.

Se eliminará inmediatamente cualquier acumulación de agua de la cubierta, periódicamente habrá una extracción de los lodos acumulados en la parte baja del biodigestor para evitar el azolvamiento y la operación incorrecta.

Se deberá hacer inspección diaria de tuberías, válvulas y equipo de medición, para detectar a tiempo cualquier daño que presente el biodigestor y en caso de haberlo, realizar las acciones necesarias para su inmediata reparación



Dado que la temperatura del medio ambiente es consecuencia de la radiación solar, se notará si existe relación con la temperatura del biodigestor, el rendimiento de un biodigestor está ligado principalmente a la estructura de los componentes bacterianos de este. Además, la producción de metano tiene un límite que depende también la materia utilizada para alimentarlo, (Library, 2022).

## **Reparación**

Para la reparación del biodigestor no habrá dificultad con materiales que posiblemente se necesiten para la reparación.

## **Manipulación**

Revisar diariamente que el nivel del agua en la válvula se encuentre en la línea de los barrenos. De no ser así, rellenar con agua.

Se recomienda hacer diversas inspecciones visuales a lo largo de las mangueras y dirigir cualquier acumulación hacia la válvula de alivio, reactor o trampas de agua. Cuando el nivel de acumulación llegue a 70% en las trampas de agua, drenarlas como se muestra en el diagrama.

Verificar cada cierto tiempo que no existan fugas en las mangueras. Un indicador importante para considerar es el olor si este llega a tener un olor diferente debe ser cambiado, (Moreno, 2011).



## Antropometría

Definir qué dimensiones antropométricas se medirán y cómo se utilizarán para diseñar los diferentes componentes del biodigestor (e.g., altura de las válvulas, tamaño de las aberturas).

Considerar la variabilidad antropométrica de los usuarios y diseñar el biodigestor para adaptarse a diferentes tipos de cuerpo.

Consideraciones adicionales:

- **Accesibilidad:** Asegurar que el biodigestor sea accesible para usuarios con discapacidad.

El diseño del biodigestor considera dimensiones antropométricas de la comunidad, como altura, peso, longitud del brazo, anchura del hombro y altura de la cintura. Los componentes diseñados incluyen altura de válvulas, tamaño de aberturas, altura y diámetro del tanque, priorizando ergonomía, accesibilidad y mantenimiento. Se siguen normas como NMX-R-004-SCFI-2011 y ISO 9241-2 (Hernández,2020).

**Ergonomía** Diseñar el biodigestor para minimizar la fatiga y estrés en los usuarios.

- Analizar las tareas que los usuarios realizarán durante la operación y mantenimiento del biodigestor y diseñar los componentes de manera que minimicen la fatiga y el riesgo de lesiones.
- Considerar la accesibilidad del biodigestor para personas con discapacidad.

El diseño del biodigestor considera la ergonomía y accesibilidad para minimizar la fatiga y riesgo de lesiones durante su operación y mantenimiento, facilitando el acceso y uso para personas con discapacidad, basándonos en la Norma Mexicana NMX-R-004-SCFI-2011. Ergonomía - Diseño de espacios y productos.

Organización Mundial de la Salud (2018). Guía para la accesibilidad en la construcción de infraestructuras.

## **Percepción**

Da a comprender como es que funcionan cada componente, que aporta y él porque es necesario teniendo en cuenta los 5 sentidos ajustando al diseño del biodigestor.

## **Transporte**

La ubicación para la instalación

Se deberá considerar lo establecido de acuerdo con la normatividad ambiental vigente. Ya que, dependiendo de la magnitud del proyecto, la unidad productiva, se deberá presentar una evaluación de impacto ambiental o un informe preventivo del mismo, en los términos que indica la Ley General para el Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, (LGEEPA).

La ubicación física del sistema deberá tomar en cuenta considerando diversos factores, tales como el desnivel del terreno, las distancias óptimas de la unidad al biodigestor, diversos factores de seguridad y lo que permitirá una adecuada operación del sistema, (SAGARPA, 2010).

### **Restricciones para la Ubicación del Sitio**

Se deberán considerar al menos las siguientes restricciones para la ubicación del biodigestor:

- No ubicarlo dentro de áreas naturales protegidas únicamente en zonas de siembra.
- Se deberá instalar a una distancia mínima de 500 m de cualquier comunidad poblacional.



- No ubicar en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, zonas arqueológicas, fracturas o fallas geológicas.
- La distancia respecto a cuerpos de aguas superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo.
- La ubicación entre el límite del sistema y cualquier pozo de agua deberá ser de 500 m.

SEMARNAT, (2010).



## 5.5 Características situacionales de la comunidad para la introducción de biodigestores

El área de estudio de este proyecto de investigación se encuentra ubicado en la localidad de la Guadalupe, Municipio de Ometepec en el Estado de Guerrero. La población cuenta aproximadamente con 1149 habitantes, ocupa el lugar número nueve de todo el municipio con mayor población. Se encuentra a una altura de 424 msnm.

Ahora, teniendo en cuenta las características generales de la zona donde se realiza el proyecto, podemos decir con certeza que la zona rural es conocida por su agricultura y ganadería, lo cual lo hace un sector en el cual se sacará beneficio del uso del biodigestor. También teniendo en cuenta que su infraestructura en cuestiones de acceso a electricidad es de un 95 % y que sus recursos medio ambientales se centran en ríos, arroyos, bosques etcétera, con esto vimos un reto, ya su vez una oportunidad de desarrollo económico sostenible y como eje central usamos los ámbitos social, ambiental y económico.

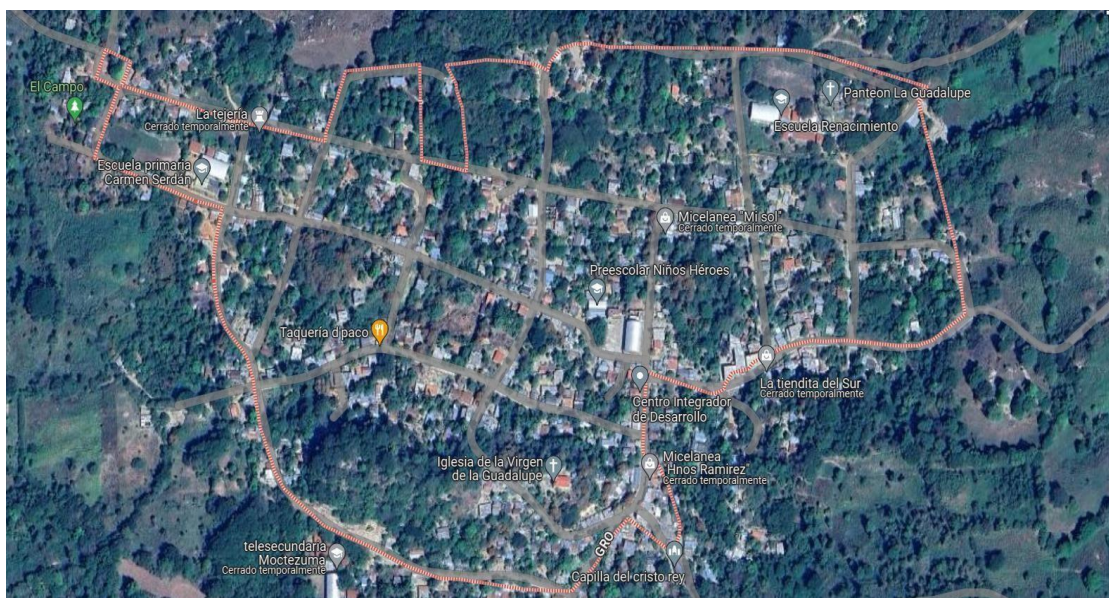


Figura 12 La Guadalupe (Guerrero) Ometepec

Fuente: (<https://maps.app.goo.gl/rxfpaDWjFFRJJJaC99>, 2024).

## 5.5.1 Hidrología

### Río Ometepec

Nace en límites de Guerrero y Oaxaca al occidente de Juchitán y se interna en Guerrero tomando el nombre de Zacoalpa. Desembocada en la barra de Tecoaapa. Su recorrido a lo largo de la corriente troncal es de 40 kilómetros.

## 5.5.2 Climatología

El 82% del estado, presenta clima cálido subhúmedo, el 9% es seco y semi seco, el 5% templado subhúmedo, el 3% cálido húmedo y el 1% es templado húmedo. La temperatura media anual es de 25°C. La temperatura mínima promedio es de 18°C y la máxima de 32°C. Las lluvias se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, (INEGI, 2023) .

## 5.5.3 Temperatura

La temporada calurosa dura 3.8 meses, del 17 de mayo al 10 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 32 °C. El día más caluroso del año es el 21 de junio, con una temperatura máxima promedio de 36 °C y una temperatura mínima promedio de 23 °C.

La temporada fresca dura 2.8 meses, del 22 de noviembre al 17 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 19 °C. El día más frío del año es el 6 de enero, con una temperatura mínima promedio de 3 °C y máxima promedio de 15 °C, (INEGI, 2023).

## 5.5.4 Biodiversidad

- Flora

Predominan los bosques de coníferas y encinos en las partes altas de la Sierra Madre del Sur. Hay selvas en la depresión del Balsas y en la vertiente del Pacífico. Existen pastizales, manglares, dunas costeras y distintos tipos de vegetación acuática distribuidos a lo largo de la franja costera y vertiente interior, así como selvas medianas, bosques de montaña en las partes más húmedas. Las zonas agrícolas abarcan 21% de la superficie del estado.

- Fauna

En la cuenca del Balsas: ardilla arbórea, puerco espín tropical, zorra gris, tejón y venado cola blanca. En los pastizales: liebre, tordo, águila, mapache, jabalí y lagarto de Gila. En el manglar: armadillo, martucha, onza y aves costeras. En ambientes acuáticos: iguana, tortuga, cazón, atún, baqueta, barrilete, lenguado y lisa. Animales en peligro de extinción: tecolotito, jaguar, ocelote, oso hormiguero y tigrillo (Ver figura 13 y 14) (Conabio, 2023).



Figuras 13 y 14 Vegetación de la comunidad

Fuente: (Cruz, 2021).

### **5.5.5 Periodo de cultivo**

Las definiciones del periodo de cultivo varían en todo el mundo, pero para fines de este informe, lo definimos con el periodo continuo más largo de temperaturas sin heladas ( $\geq 0$  °C) del año (el año calendario en el hemisferio norte o del 1 de julio al 30 de junio en el hemisferio sur).

El periodo de cultivo Guerrero normalmente dura 9.1 meses (276 días), desde aproximadamente el 25 de febrero hasta aproximadamente el 28 de noviembre, rara vez comienza antes del 30 de enero o después del 22 de marzo y rara vez se termina antes del 9 de noviembre o después del 16 de diciembre.

### **Costa Chica**

Con este nombre se conoce la llanura y se extiende al este de Acapulco hasta los límites de Oaxaca. Está limitada al norte de la sierra Madre del Sur y por el océano Pacífico al sur. Es una región agrícola y ganadera, (Enciclopedia 2021).

En conclusión, el proyecto de biodigestor para la Guadalupe Guerrero es una solución innovadora y sostenible para generar energía renovable y reducir residuos orgánicos. Los periodos de cultivo y la temperatura son fundamentales para asegurar la eficiencia y efectividad del proceso.

## 5.6 Marco legal / Normatividad

De acuerdo con las normas para producción, regulación y mantenimiento de residuos, gas natural, contaminantes y seguridad para un biodigestor, para poder construir un biodigestor en la comunidad de la Guadalupe guerrero, se debe tener en cuenta que este debe estar regido por seis NOM, que regulan los biodigestores en México (Ver figura 15) (SAGARPA, 2010).



Figuras 15 NOM Para la regulación y construcción de biodigestores en Mexico

Fuente: (SAGARPA, 2010)

## VI. METODOLOGIA DE INVESTIGACION

De acuerdo con Hernández Sampieri, para la presente investigación se llevó a cabo con un enfoque mixto, es una investigación de tipo correlacional de causa efecto, que permitió observar y delimitar el área de trabajo, la aplicación de un instrumento a 22 trabajadores agrícolas de la zona de estudio para la obtención de datos. El método de diseño es con enfoque sustentable que entrelaza los ámbitos social, ambiental y económico.

De acuerdo Gabriel Simón el diseño sustentable se llevó a cabo una serie de pasos. Se propone identificar, caracterizar y aplicar los criterios, de condiciones de sustentabilidad al proceso de diseño.

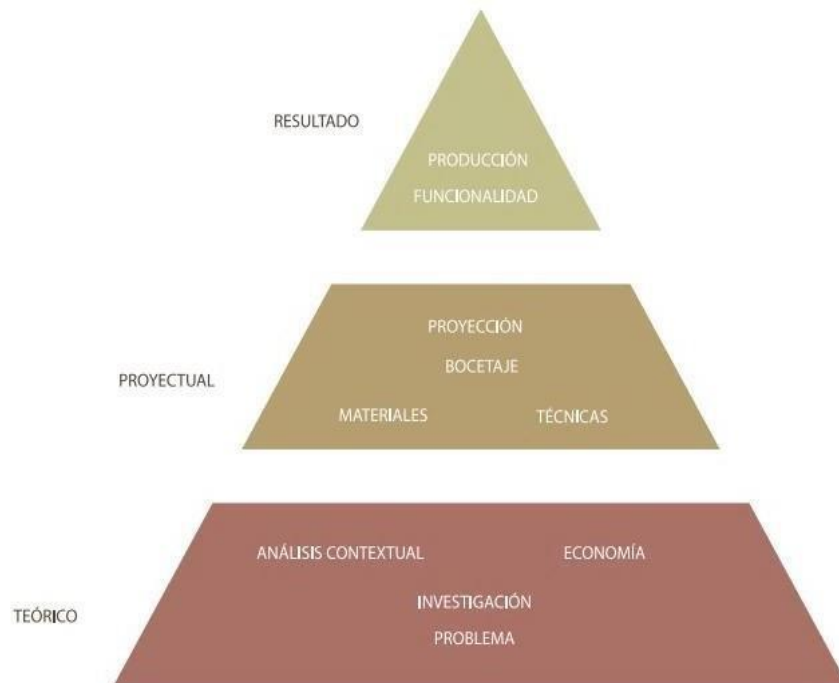


Figura 16 Modelo de diseño con enfoque sustentable (2015)

Fuente: (Itani, 2015)

## Modelo adaptado de diseño sustentable Proceso de la realización del proyecto

### ETAPA 5 FUNCIONALIDAD Y PRODUCCIÓN

En la etapa cuatro se diseñó el biodigestor de acuerdo a las dimensiones del área de estudio, siendo específicos en la zona de siembra de la comunidad su capacidad es de (120L ) y las medidas de (164 x 148 ) con una capacidad de ( 90 L ) Los materiales que se usaran para este son la geomembranas de polipropileno ya que por la temperatura de la comunidad y densidad las condiciones para la realización del proyecto son de las más óptimas para su uso.

### ETAPA 04 BOCETAJE Y PROYECCIÓN

En la etapa cuatro se realizaron los bocetos y colores elegido por los encuestados, se realizó una lluvia de ideas cuales salieron los bocetos del proyecto, para después quedar con el boceto final y este paso a un programa de modelado digital.

### ETAPA 03 MATERIALES.

En la tercera etapa teniendo recabada la información del cuestionario se procedió a buscar los materiales adecuados los cuales fueron los geos sintéticos desglosando a las geomembranas.

### ETAPA 02 TÉCNICAS E INVESTIGACIÓN

En la segunda se aplicó el cuestionario para obtener información importante para el diseño del biodigestor de los cuales se recabo el si los pobladore conocían los biodigestores, si sabían como se manejan y cuales son más útiles y como afectan el proyecto para su localidad.

### ETAPA 01 PROBLEMA, INVESTIGACIÓN Y ANALISIS CONCEPTUAL

Identificamos el problema siendo conscientes de la falta de luz en las zonas de siembra, en el sector de la Guadalupe guerrero, se realizó una investigación teniendo en cuenta la historia, producción, ventajas y desventajas de los biodigestores y como podrían ser optimizados para su uso en las comunidades rurales de guerrero siendo específicos en la zona de la Guadalupe.

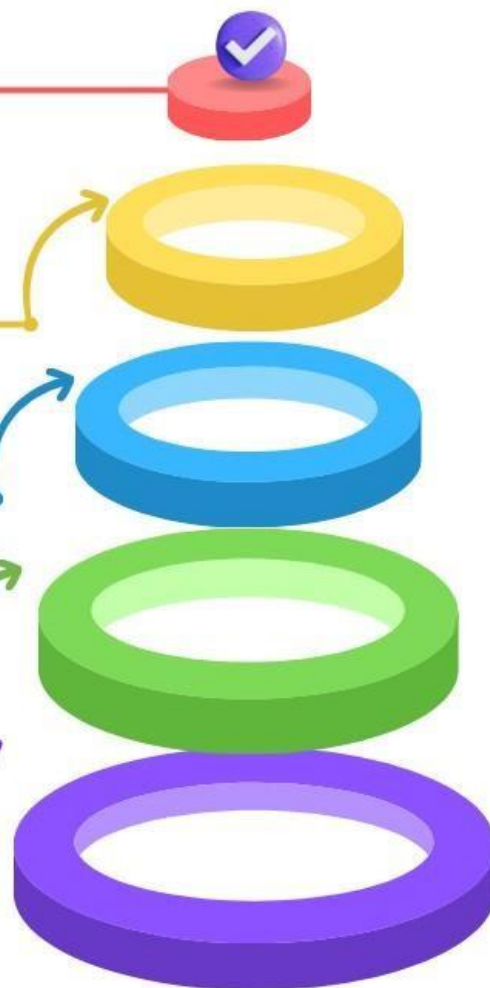


Figura 17 Modelo adaptado de diseño sustentable paso a paso

Fuente: (Cruz, 2023)

## 6.1 Investigación de campo en zona agrícola

La Guadalupe Guerrero es una zona agrícola que enfrenta desafíos especialmente durante las horas de siembra. Este estudio de campo busca evaluar la viabilidad de implementar un biodigestor para producir biogás y generar energía renovable en la zona para brindar una extensión de horario en el cual puedan trabajar y mejorar la calidad de vida.

Área de siembra de maíz, un momento clave después de la siembra donde recogen los cultivos de maíz en un horario matutino con grupos de 3 por sector para agilizar la recolección y evitar el máximo punto de sol en el día.

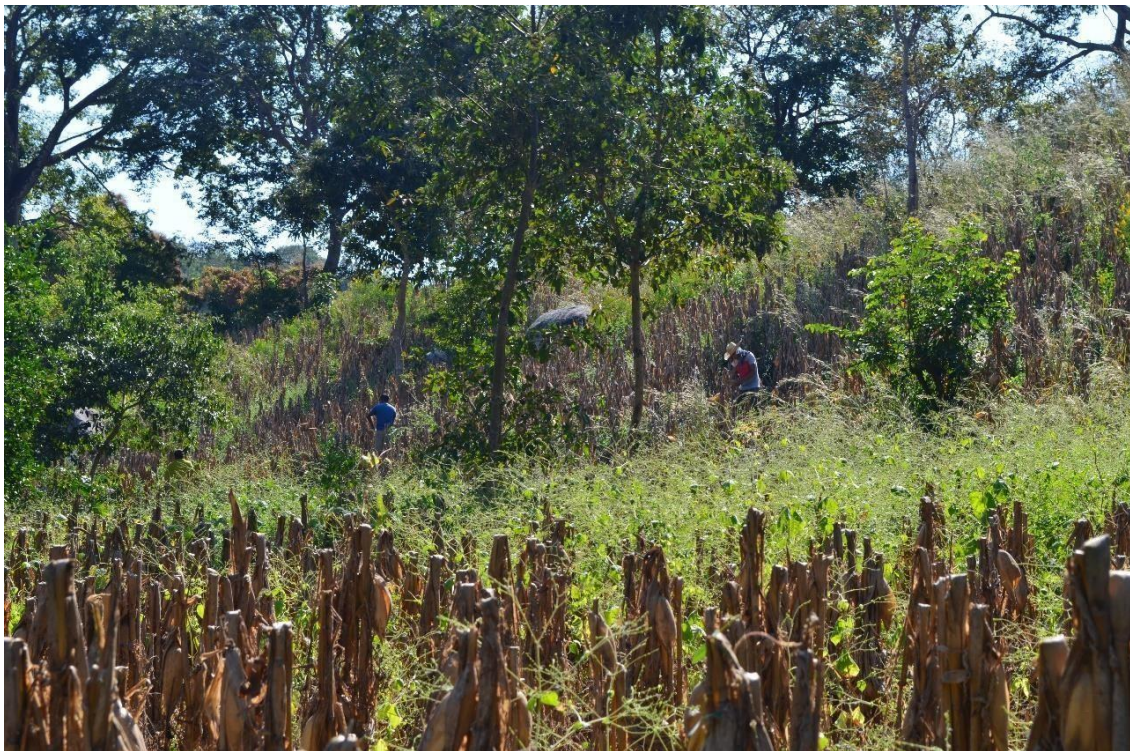


Figura 18: Zona de la Guadalupe guerrero, siembra y recolección de maíz

Fuente: (Cruz, 2021).

## 6.2 Aspectos biológicos

### Adición de bacterias termofílicas

El rendimiento de un sistema de digestión anaeróbico está ligado, principalmente, a la estructura de la comunidad microbiana presente en el digestor. Los parámetros ambientales y de operación del proceso afectan el comportamiento, rendimiento y, eventualmente, el destino de la comunidad microbiana en los digestores anaeróbicos, (Solano, 2009).

Es más, la naturaleza e influencia de los lodos usados para la inoculación también deben ser tomadas en cuenta (Demirel y Scheler, 2008). Por ejemplo, de acuerdo con Miah y sus colaboradores (2005), la adición de una pequeña cantidad de bacterias termofílicas aeróbicas (TA) tiene un gran potencial como tratamiento rentable para acelerar la digestión anaeróbica de desechos biológicos, (Solano, 2009).

De acuerdo con Mía y sus colaboradores (2005), la adición de una pequeña cantidad de bacterias termofílicas aeróbicas (TA) tiene un gran potencial como tratamiento rentable para acelerar la digestión anaeróbica de desechos biológicos. La adición de 5% de volumen de metano generado entre volumen de materia dispuesta en el recinto fermentador (v/v) de lodos TA al lodo metano génico aumentó la producción de biogás con una concentración de metano de 50-67%. Esto se debe a que, durante la solubilización de lodos, las enzimas de bacterias TA excretadas influenciaron la hidrólisis de los lodos durante la digestión anaeróbica. No obstante, para trabajar con TA, se necesita una temperatura de operación cercana a los 65 °C, lo cual eleva el costo del proceso.

Teniendo en cuenta todos estos datos o en su caso aspectos biológicos la estructura de la comunidad microbiana esta debe estar fuertemente ligada a los parámetros ambientales de la comunidad de la Guadalupe Guerrero entonces esta comunidad microbiana que se utilizó para el proceso anaeróbico tuvo como influencia la hidrología, climatología, densidad, temperatura, flora y fauna y lo más importante que son los periodos de cultivo que son donde el biodigestor fue más activo.

Teniendo en cuenta a (solano 2009) las bacterias termofílicas anaeróbicas (TA) combinado con los lodos usados para la inoculación del biodigestor las características de este deben tenerse en cuenta demás del factor del sector donde se puso el biodigestor.

### **6.3 Aspectos ecológicos**

Estos beneficios representan ahorros para los productores en fertilizantes y en energía, pero a su vez también aumenta la productividad de sus cultivos, lo que mejora de forma directa sin dañar el suelo.

Este beneficio hace posible que los productores aumenten sus ingresos, pero formando parte de un ciclo natural en donde se utilizan los desechos de un sistema para formar parte de otro, y aún mejor, expandiendo los beneficios en su comunidad, pues quienes compran la cosecha de estos productores pueden estar seguros de que el fertilizante no va a ser dañino para su salud (Sistema.Bio, 2018).

Mientras los resultados del biodigestor tienen un impacto directo en las vidas de los usuarios, este sistema a su vez reduce los gases de efecto

invernadero provenientes de la agricultura. Al introducir los desechos al biodigestor los gases se capturan para producir energía, evitando que se descompongan al aire libre y se acumulen en la atmósfera aumentando la temperatura de la tierra por eso el diseño del biodigestor se adecuo a los factores biológicos y ecológicos para adaptarse al lugar y que tuviera una optimización ideal.

## **6.4 Biodigestor y sostenibilidad**

La sostenibilidad es un factor importante en ámbitos de proyectos enfocados en ayudar a los trabajadores agrícolas como es en nuestro caso y que los 3 ámbitos se vean beneficiados trabajando en conjunto, el uso de los 3 pilares en el proyecto del biodigestor para la comunidad brindo un balance y dio un plus a la población brindando energía (Luminaria) para sus zonas de siembra.

En el proyecto SistemaBio (2018) hay autores que señalan a los tres pilares como primordiales que son la sostenibilidad ambiental, la sostenibilidad social y la sostenibilidad económica.

### Sostenibilidad ambiental

La conservación de la naturaleza y su biodiversidad es la única manera de que podamos aprovechar los recursos naturales en el futuro para cubrir nuestras necesidades. Evitar la contaminación del agua, la tierra y el aire, es la única manera de asegurar la salud de las personas en el futuro.

### Sostenibilidad social

Busca reducir la pobreza, el hambre, la injusticia social y la discriminación, así como promover las culturas locales y las prácticas tradicionales. En una sociedad



sostenible, todos los pobladores del planeta deberían tener el mismo acceso a la salud, la educación y la cultura.

### Sostenibilidad económica

Las prácticas económicas sostenibles permiten a la gente generar por sí mismas los recursos necesarios para vivir bien. Requiere que las empresas y las fábricas tengan una relación respetuosa con el ambiente y la sociedad: entre otras cosas, que no contaminen, ni destruyan el ambiente y que los trabajadores ganen lo justo, (Sistema.Bio, 2018).

La implementación de un biodigestor en la Guadalupe Guerrero es una oportunidad para abordar los desafíos energéticos y ambientales de la comunidad, mientras se promueve el desarrollo social y económico sostenible. Este proyecto integra los tres pilares de la sostenibilidad, como se mencionaba anteriormente asegurando un futuro más próspero y resiliente para la comunidad.



En el esquema del desarrollo sostenible donde se explica por secciones como se involucra la sociedad el medio ambiente y la economía desglosando que aportaciones tienen en el biol, biogás y el biodigestor (ver figura 19).

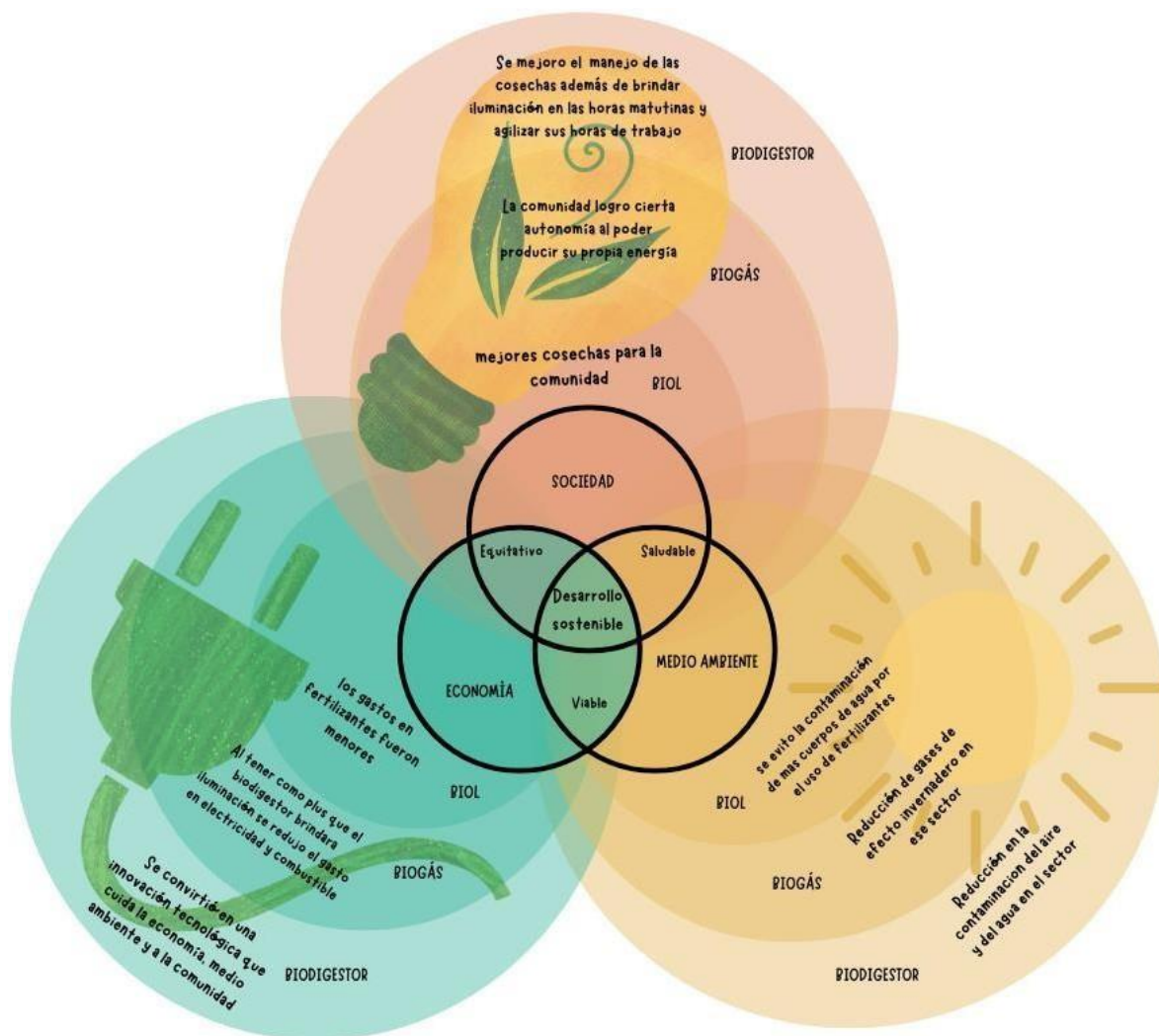


Figura 19 Desarrollo sostenible basado en el proyecto (Cruz, 2024)

Se dice que el biodigestor en el desarrollo sostenible fue un producto viable que es saludable con el medio ambiente ya que no involucro altos costos para su producción, y mantenimiento e inclusive el uso de agua es menor a los antiguos biodigestores apoyando así la economía.

## 6.5 Uso de modelos

La Guadalupe Guerrero es una comunidad que se ubica en el estado de Guerrero con una población de 1,149 habitantes y que está cercana a los estados de Puebla y Oaxaca colindando con este y con una geografía donde es el poblado en la posición número 9 de todo el municipio. La Guadalupe está a 424 metros de altitud, el 82% del estado, presenta clima cálido subhúmedo, el 9% es seco y semi seco, etcétera, tanto así que en coordenadas la zona o área de estudio se encuentra en  $16^{\circ}41'15.9''N$   $98^{\circ}15'35.5''W$ .

El Modelo de Digestión Anaeróbica (ADM1 por sus siglas en inglés) es un modelo estructurado que representa sustratos complejos por sus principales componentes, e incluye múltiples pasos que describen los procesos bioquímicos y fisicoquímicos del proceso anaeróbico de biodegradación de compuestos orgánicos complejos, (Alvarado, 2015).

Objetivos del modelado de la Digestión Anaerobia

- Cuánto y en cuánto tiempo se puede degradar un sustrato
- Calidad de efluente y tamaño de reactor
- Cuánto metano se puede producir y de qué calidad Recuperación energética

Una característica del simulador es que limita la duración de la etapa de reacción a la producción acumulada de biogás, así como la existencia de la etapa de purga a una concentración límite de sólidos en suspensión volátiles. El simulador se desarrolla en base al modelo de digestión anaerobia ADM1 desarrollado por la IWA (International Water Association), el cual tiene en consideración 19 procesos y 24 componentes dentro de la digestión anaerobia. Debido a las características inhibitorias del sustrato considerado, además de los procesos incluidos en el

ADM1, se tomó en cuenta la cinética de la población de bacterias SAO los cuales son menos sensibles a la inhibición por amonio, (Díaz, 2019).

## 6.6 Técnica de investigación (Aspecto social)

Como se mencionó anteriormente en los antecedentes de la comunidad, ellos ya están actualmente trabajando con un tipo de biodigestor tubular. Con el proyecto que actualmente manejan no han tenido algún problema con el uso de este. Aunque muchos en la comunidad prefieren no hacer uso de este (ver figura 20 y 21).



Figura 20 y 21 Vivero de la comunidad

Fuente: (Cruz, 2020)

Ya que el programa incluye el biodigestor, solo ciertos pobladores pueden tener acceso a este. Sembrando vida es un programa integral que rescata el campo; fortalece la organización, producción y el tejido social; fomenta la cultura del ahorro y la inclusión productiva.

## 6.6.1 Resultado de encuestas

La encuesta se llevó a cabo a varios expertos en agricultura o en biodigestores, y según la información recopilada de las respuestas de los usuarios, estas tendrán un impacto significativo en la investigación sobre su perspectiva en la introducción de un biodigestor en su comunidad, así como en los posibles diseños que iniciarán los conceptos para el producto final.

Pregunta1:

Se le preguntó a los encuestados si conocían el término bio y/o biosol para saber si estaban familiarizados con los primeros términos de un biodigestor. De acuerdo con la gráfica (Figura 21) que se ve posteriormente, la mayoría de los usuarios entrevistados conocen el término y esto sería un beneficio, ya que al estar familiarizados conocen aspectos de su uso, mientras que un cierto porcentaje dice que no conoce el concepto y esto sirve para introducir un pequeño curso para las personas que quieran conocer desde el significado.

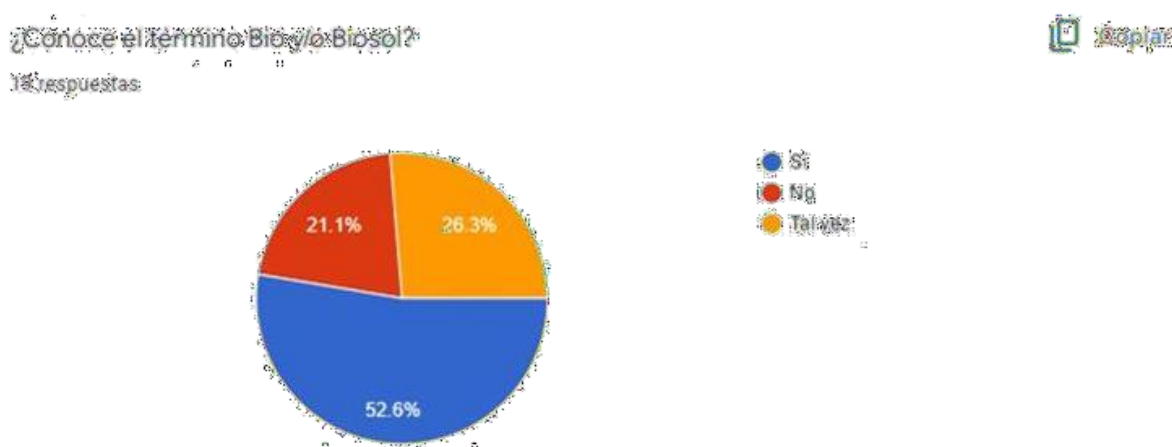


Figura 21 (Cruz, 2022)

## Pregunta 2:

Se preguntó si aparte de conocer el término de Biosol conocían el hecho de que es un fertilizante orgánico para nutrir las cosechas (ver figura 22). Uno tenía un cierto porcentaje igualitario en conocer y a la vez no el que podía utilizarse como fertilizante orgánico. El saber estos datos ayuda que en el momento que se presente bien el proyecto a la comunidad, darles cómo se mencionaba anteriormente un curso introductorio para que conozcan los beneficios del uso del biol.

¿Sabía usted que el biol es un fertilizante orgánico muy bueno para nutrir las cosechas?

19 respuestas

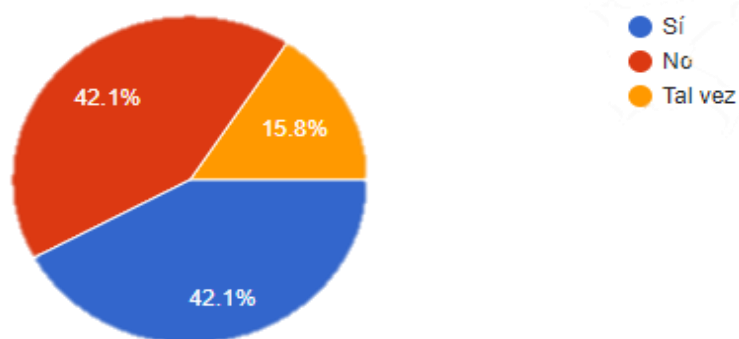


Figura 23 (Cruz, 2022).

### Pregunta 3 apartado 2:

Se le preguntó a los encuestados elegir entre cuatro imágenes de distintos biodigestores existentes para ver cuál es el mejor y que les llamaba más la atención (ver figura 23). En su mayoría los usuarios eligieron la opción dos. Para ellos el biodigestor tipo tubular es una buena opción y a su vez la opción 3 también fue llamativa para ellos por el tamaño y a su vez su forma. Esto nos da a entender que las otras formas para los usuarios no fueron del todo llamativas.

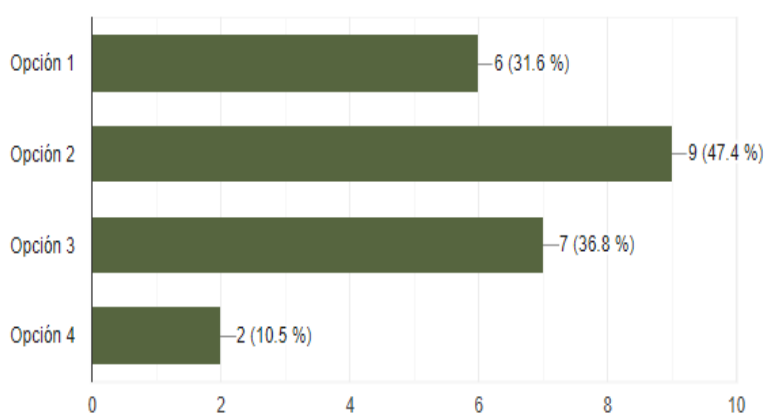


Figura 23 (Cruz, 2022).

#### Pregunta 4 apartado 2:

Con relación a la pregunta anterior de cuál modelo de biodigestor les agradaba más, ahora se le preguntó a los encuestados qué aspecto les cambiarían a estos. La mayoría optó por cambiar la forma y un tanto los colores que son utilizados en los biodigestores convencionales (ver figura 24). Basándonos en las respuestas de los usuarios podemos decir que ellos optarían por opciones que sean diferentes en la forma y en los colores, aunque podemos decir que un cierto porcentaje de estos encuestados cambiaría la forma, colores y hasta el tamaño, dando entender que ellos buscarían una propuesta muy diferente a las presentadas.

Relacionado a la anterior pregunta, que cambiaría respecto a ellos

19 respuestas

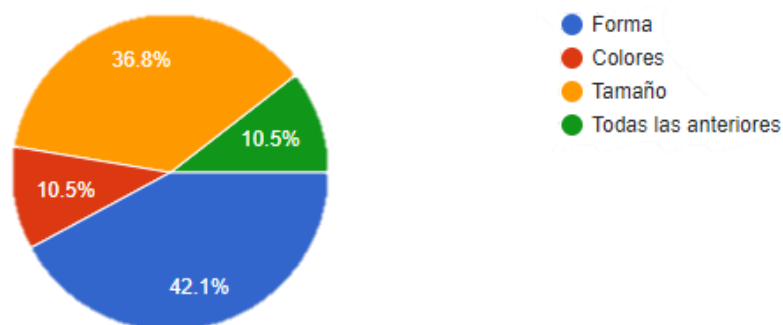


Figura 24 (Cruz, 2022).

### Pregunta 5 apartado 2:

Se le preguntó a los encuestados el hecho de que existían materiales que ayudaban al medio ambiente como geo sintéticos y geomembranas y si ellos creen que esto es viable usarlos a cambio de los antiguos materiales (ver figura 25). A la mayoría de los usuarios les pareció una buena idea el utilizar materiales nuevos para el cuidado del medio ambiente y a su vez una parte dijo que tal vez, ya que puede que el uso de estos materiales involucre mucho el hecho de la resistencia, sería bueno buscar que se involucren materiales biodegradables y que sean aptos para su uso en este caso.

Actualmente existen nuevos materiales biodegradables como los geo sintéticos y la geomembrana ¿Para este punto cree que sea viable el cambiar los actuales materiales de los que esta compuesto el biodigestor?

19 respuestas

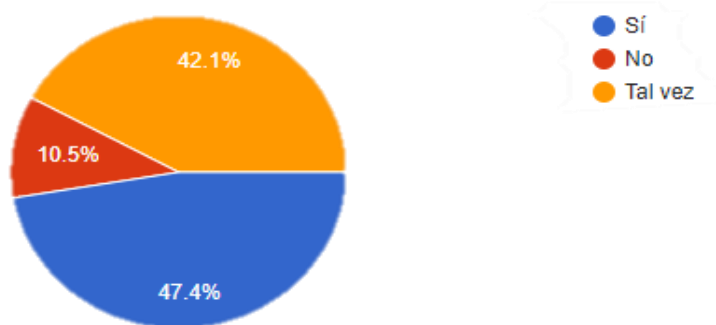


Figura 25 (Cruz, 2022).

### Pregunta 6 apartado 3:

Presentamos varios esquemas que demostraban los beneficios del uso de biodigestores y les preguntamos si creían que un producto como este que genera energía sería algo positivo. (ver figura 26) En su mayoría contestó que, sí, ya que para ellos sería de mucha ayuda no solo en los beneficios que presenta el uso del biol; el tener un producto que les brinde energía para uso de sus actividades diarias de siembra daría un impacto significativo en su salud, y un cierto porcentaje de usuarios está todavía indeciso en creer que el tener este tipo de productos sea algo bueno y para ellos tendría que plantearse cómo convencerlos que es una buena idea.

¿Cree que tener un producto que te brinde electricidad sea bueno?

19 respuestas

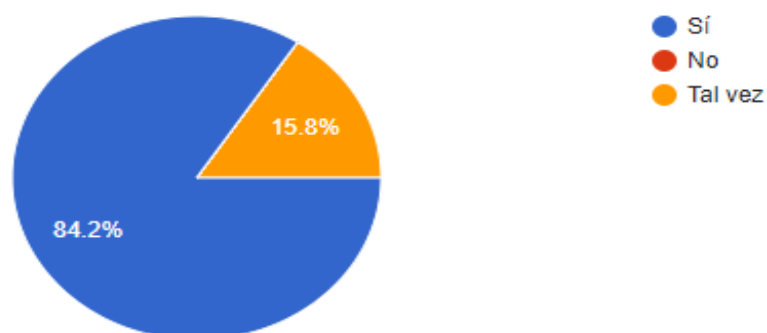


Figura 26 (Cruz, 2022).

### Pregunta 7 apartado 3:

Se les preguntó a los encuestados si sabían que un biodigestor, aparte de brindar gas y fertilizantes, estos pueden dar energía (ver figura 27). Hubo una gran parte de los usuarios que contestó que sabían de estos beneficios. Lo que más resaltó fue que la otra mitad contestó que no, ya que no muchos conocen los distintos aportes que da un biodigestor y que puede aportar a su vida cotidiana. Para esto es necesario, como se comentaba anteriormente, el dar a conocer estos aspectos a través de cursos o infografías que ayudan a comprender cuáles son los atributos de tener un biodigestor con energía, que les ayude sus días de trabajo.

¿Sabía usted que un biodigestor puede brindar energía?

19 respuestas

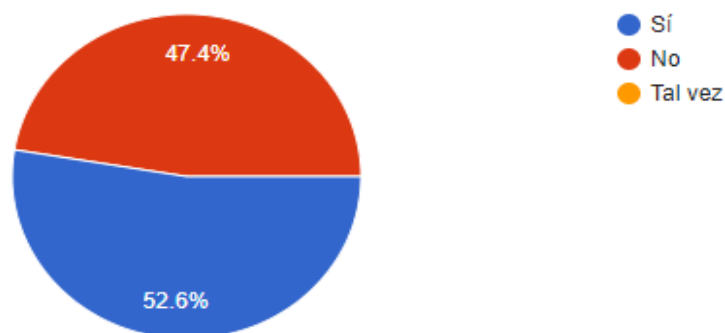


Figura 27 (Cruz, 2022).

### Pregunta 8 apartado 3

Se le preguntó a los encuestados si ellos estarían dispuestos a aceptar tener un generador de gas casero en su sector para beneficio de él y su comunidad. (Ver figura 28) En su mayoría aceptarían la instalación de este, ya que ellos lo ven como una oportunidad más y una mejora de la calidad de vida que tienen, ya que les ayudaría en ser más eficientes en la siembra, además de que el instalar un biodigestor ayudaría no solo en su trabajo de siembra, sino también provee altos contenidos de fertilizante.

¿Usted aceptaría la instalación de un generador de gas casero (biodigestor) en su sector para su beneficio y el de su comunidad?

19 respuestas

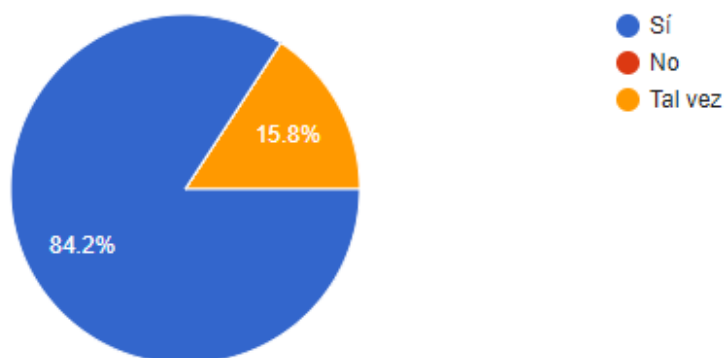


Figura 28 (Cruz, 2022).

### Pregunta 9 apartado 3:

Se preguntó si creían que el disminuir algunos impactos ambientales con este tipo de biodigestor, implementando nuevos materiales biodegradables y cambiando aspectos externos de este, podría generar beneficios económicos (ver figura 29). La mayoría de los usuarios contestó que sí veían un beneficio económico, ya que para ellos los desechos de siembra, ganadería y demás son muy usuales y cada vez más, y el tener un biodigestor en el que puedan emplear sus desechos y además les brinde energía para evitar riesgos con su salud, a su vez dar a las personas que piensan que tal vez ayude y, como se mencionó anteriormente, un curso o infografías informativas para que estén más al tanto de los beneficios.

¿Cree usted que al disminuir algunos impactos ambientales en esta actividad puede generar beneficios económicos?

19 respuestas

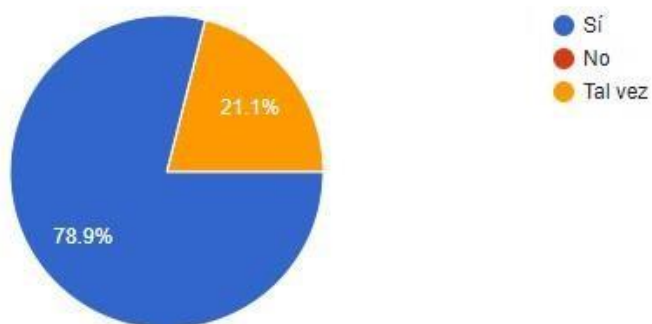


Figura 29 (Cruz, 2022).

Para finalizar, la recopilación de datos de la encuesta sirvió como base para iniciar los parámetros de diseño, optimización y capacitación en el uso del biodigestor según los gustos de los trabajadores.

## VII. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 7.1 Diseño del biodigestor

Hay tantos diseños de biodigestores como personas y empresas que han construido uno, y esto se debe básicamente a que son contenedores sin oxígeno (anaeróbicos) donde se desarrolla un proceso biológico. La forma, el diseño y los materiales van variando proyecto tras proyecto, perfeccionándose con los años.

El diseño del biodigestor va a estar condicionado de acuerdo (Álvaro, 2015) con por:

- El nivel tecnológico para utilizar.
- La elección de los materiales para la construcción.
- El diseño propiamente dicho.

A través de los años hemos visto la evolución de los biodigestores, ya sea industriales, caseros, etcétera. La mayoría son para un fin común, proporcionar biocombustible para la agricultura; en esta ocasión nos propusimos el realizar uno que nos lo implemente la estructura de un biodigestor, si no también que tuviera un segundo uso como brindar energía en la zona rural de Guadalupe Guerrero, en la cual la falta de energía llega a ser a veces de varias semanas y esto repercute en los negocios y la agricultura.

Si bien nuestro biodigestor tiene como base y procedimiento una similitud con otros biodigestores buscamos tener en cuenta diversas variables buscando que el nuevo diseño del biodigestor tuviera una mejor adaptación en cuestión de las temperaturas, la amplitud térmica, la calidad de agua hablando de la zona donde se realizó el proyecto, los materiales que fueron minuciosamente utilizados para su construcción fueron los geo sintéticos busque el combinar los



nuevos materiales que son nobles con el medio ambiente y a su vez puedan ayudarán a la adaptación y uso correcto del biodigestor y se evitará el costo elevado que siempre involucra el construir un biodigestor y a su vez brindara un plus.

## 7.2 Generación de propuestas

El objetivo de este proyecto fue diseñar y desarrollar un biodigestor innovador que permita la producción de energía renovable a partir de residuos orgánicos, reduciendo la cantidad de desechos y emisiones de gases de efecto invernadero. El biodigestor será diseñado para ser eficiente, sostenible y escalable.

De acuerdo con el 2do paso proyectual en punto de las técnicas en el uso de métodos como lluvia de ideas, collage etcétera. Se presentaron distintas ideas de lo que podría ser el concepto y diseño del biodigestor, teniendo en cuenta los diversos requerimientos que se establecieron anteriormente.



Figura 29, 30 7 31 Bosquejos preliminares

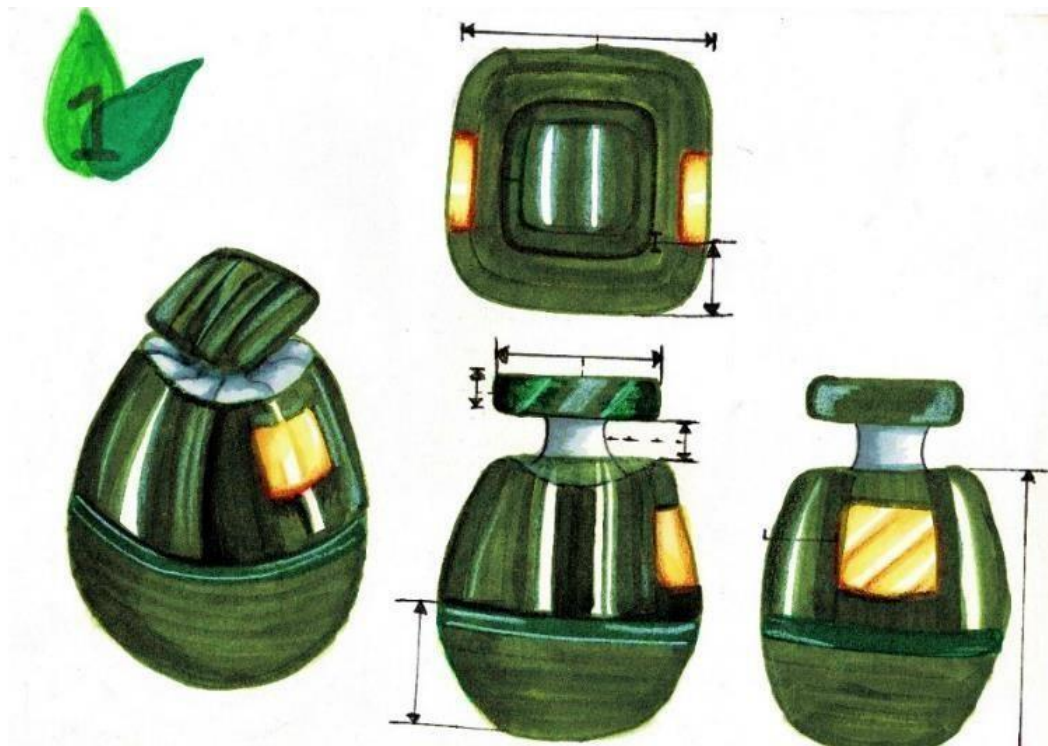
Fuente: (Cruz, 2022).

## 7.3 Bocetos

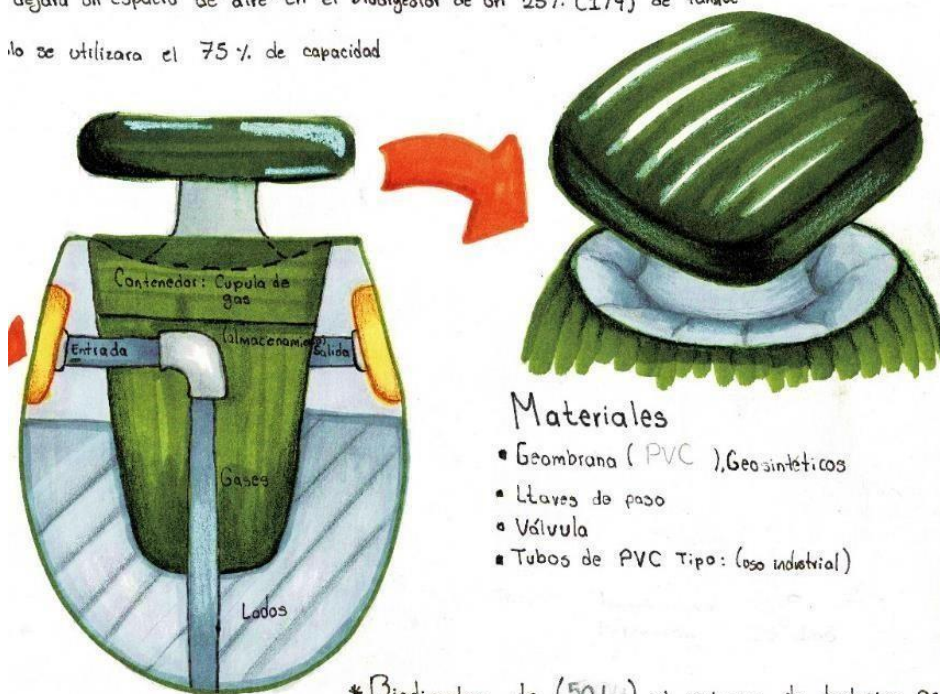
En la fase proyectual el bocetaje se presentaron diversos conceptos y a partir de diversas propuestas mostradas se eligió el que se considera los requerimientos del diseño que son.

- **Uso**
  1. Practico de instalar
  2. Debe ser intuitivo para el usuario (Agricultor)
  3. Comportamiento del usuario con el biodigestor
  
- **Función**
  1. Usuario: Ruido, temperatura, fatiga y vibración
  2. adecuación del biodigestor, Usuario (Utensilios adecuados para el usuario)
  
- **Estructural**
  1. Se deben evitar en lo posible terrenos pantanosos o con un nivel freático muy alto.
  2. Se debe considerar cualquier ampliación a la construcción existente previo a la selección de la ubicación del biodigestor
  3. relación dimensional del biodigestor (cantidad de gente, tamaño, filtros, tratos de agua)





dejará un espacio de "aire" en el biogestor de un 25%. (1/4) de tanque  
 no se utilizara el 75% de capacidad



### Materiales

- Geombrana (PVC), Geosintéticos
- Llaves de paso
- Válvula
- Tubos de PVC Tipo: (oso industrial)

\* Biogestor de (50L) el volumen de trabajo sera de 37.5 litros y la carga diaria de mezcla sera de 1.8 Litros

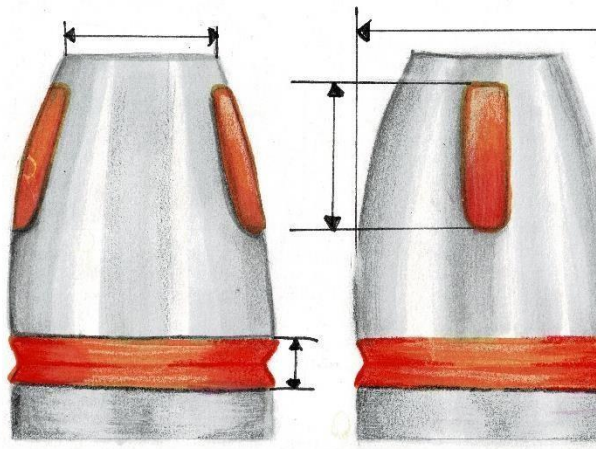
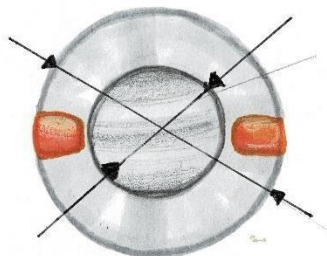
dejará un espacio de "aire" en el biodigestor de un 25%. (1/4) de tanque  
 Solo se utilizara el 75% de capacidad

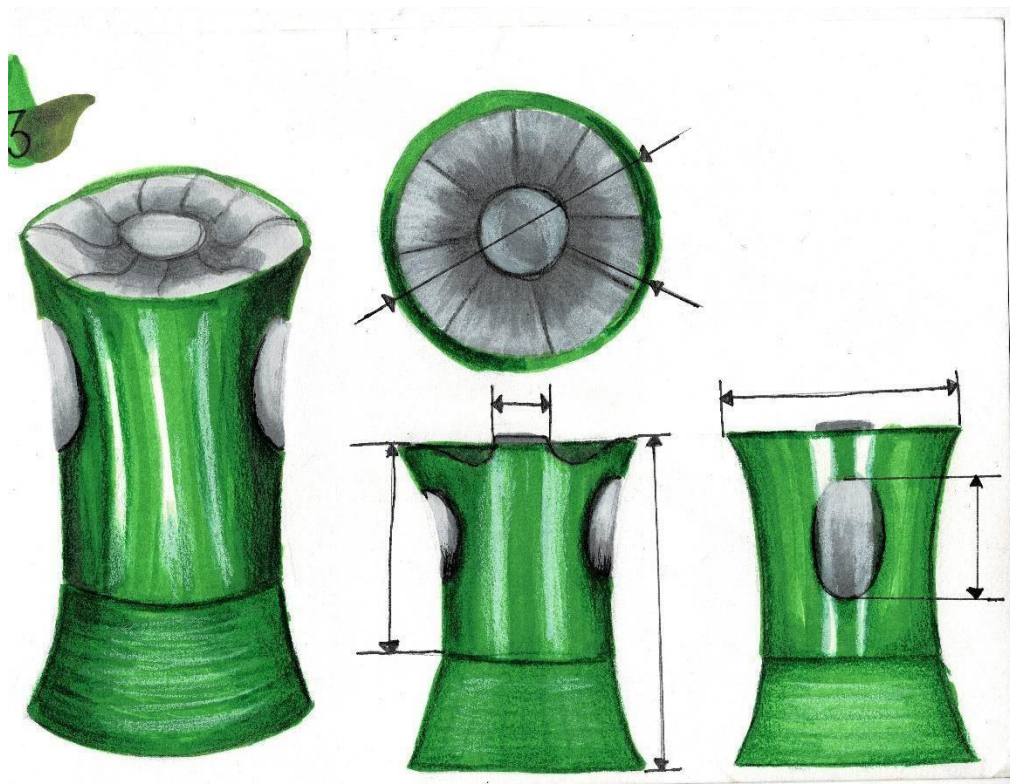


### Materiales

- Geombrana (PVC) Variantes de geosintéticos
- Llaves de paso
- Válvula
- Tubos de PVC Tipo:

\* Biodigestor de ( ) el volumen de trabajo sea de  
 y la carga diaria de mezcla sea de





\* Se dejará un espacio de "aire" en el biodigestor de un 25% (1/4) de tanque  
 ■ Solo se utilizará el 75% de capacidad



### Materiales

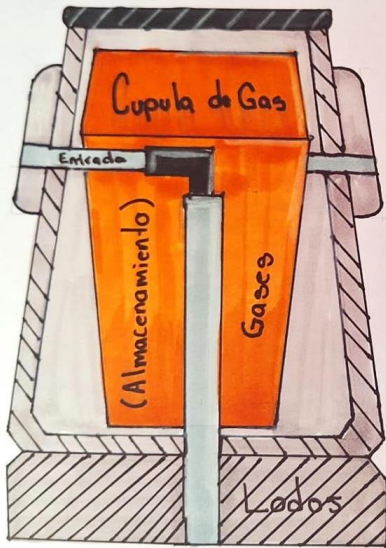
- Geombrana ( ) Variantes de geosintéticos.
- Llaves de paso.
- Válvula
- Tubos de PVC

\* Biodigestor de ( ) el volumen de trabajo será de  
 y la carga diaria de mezcla será de 1,8 Litros

Después de unas primeras versiones de los bocetos, notamos ciertos aspectos en la forma de estos que no se podrían llevar a cabo de una forma práctica haciendo leves correcciones.

Corrigiendo únicamente dos bocetos y al final quedándonos con el diseño blanco con naranja.



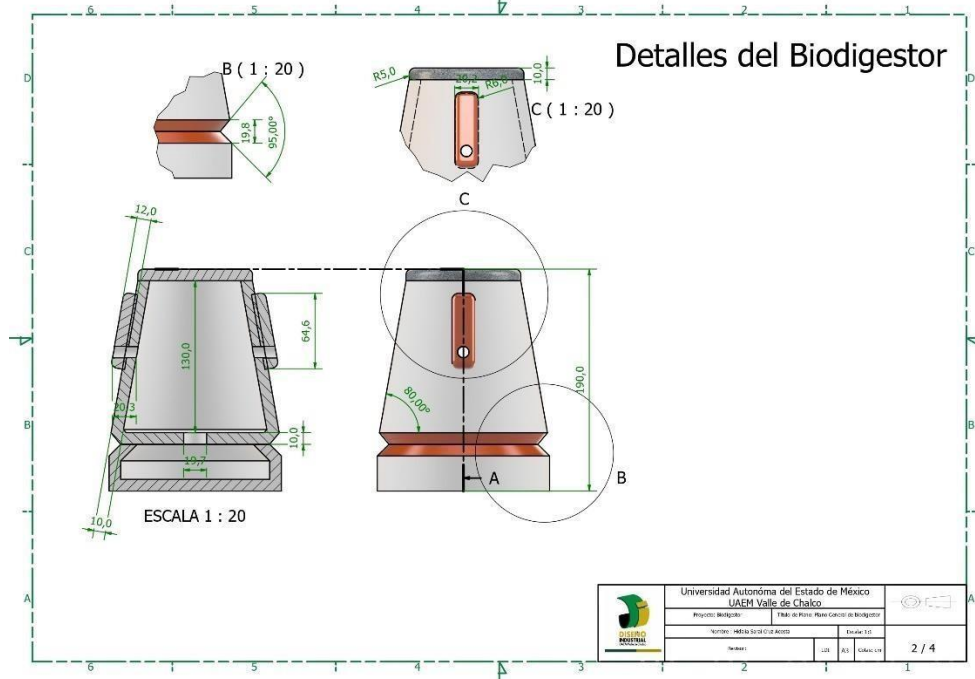
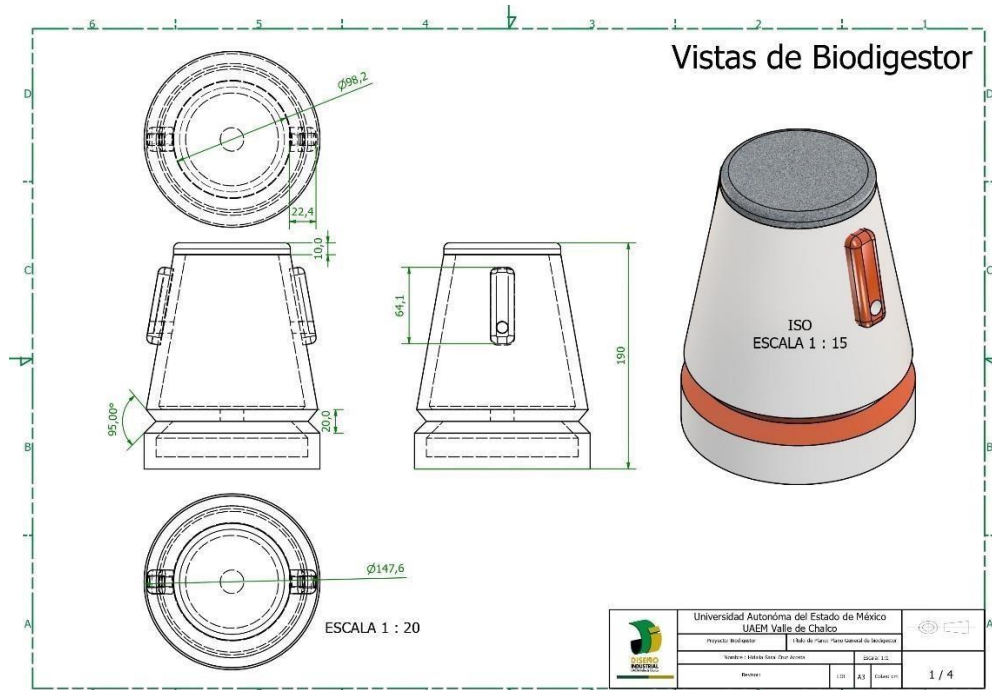


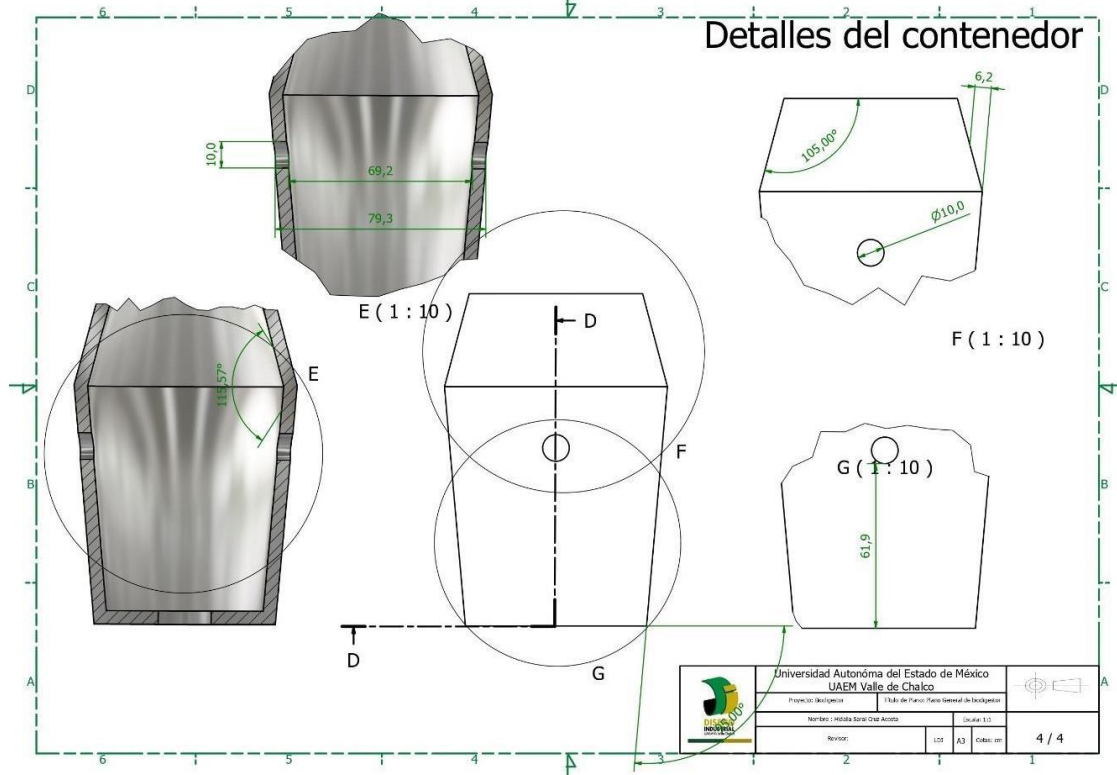
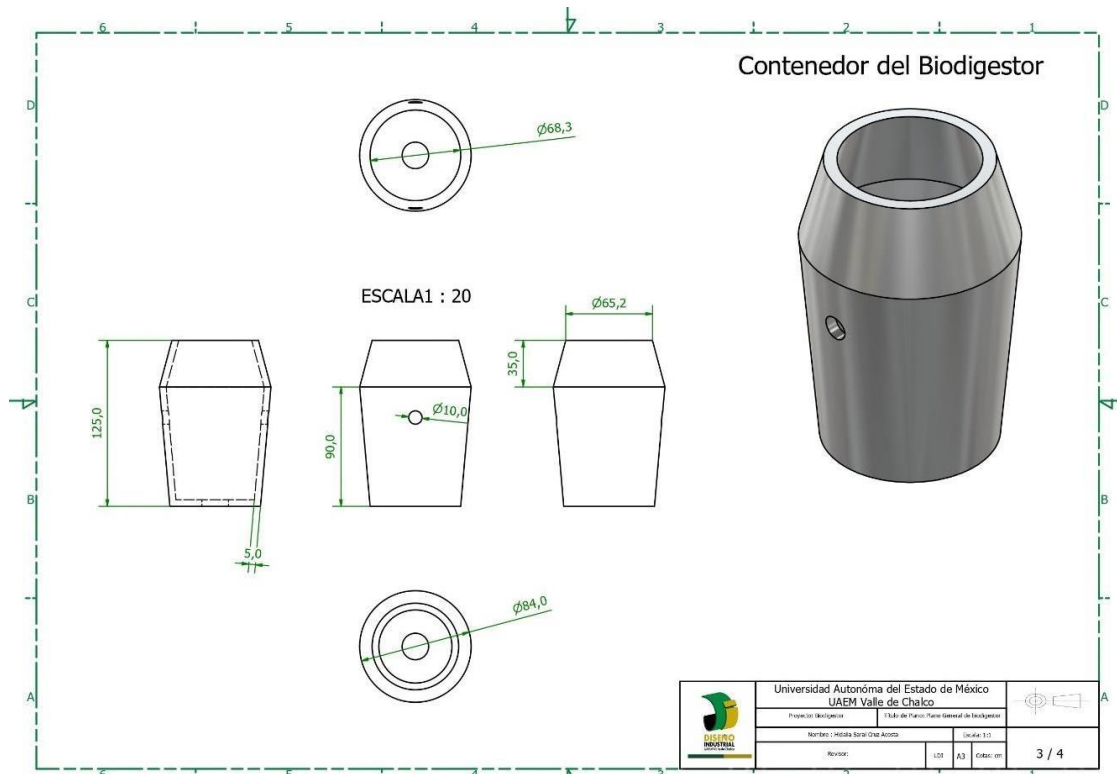
## Materiales

- Geomembrana (PVC)
- Llaves de paso
- Válvulas
- Tubos PVC

## 7.4 Planos

Se llevo acabo de la propuesta elegida los primeros planos especificando medidas del biodigestor a una escala real con todos sus componentes.





## 7.6 Render

Se realizó una ambientación digital de cómo se verá el biodigestor ya instalado, así como un despiece de sus componentes.



## 7.5 Modelo 3D

Nos dimos cuenta de que al realizar el render de nuestro modelo quedaban algunas dudas en cuanto a llevarlo a un modo físico entonces realizamos un paso extra en el cual se realizó un modelo en impresión 3D

Después de haber realizado todo el proceso de generación de propuesta, los bocetos, la selección de 2 modelos, el modelo realizado en inventor junto con los planos, pasamos al momento final en el cual se realizó un modelo de impresión 3D a escala del modelo elegido anteriormente.

El modelo que se presenta es paso 3 de resultados en el apartado de producción en la metodología de la sustentabilidad de Gabriel (2011). Producto final: modelo seleccionado de biodigestor vertical de nueva generación para brindar energía para trabajos de agricultura y fertilización

### Primer concepto Impresión 3D

Resultados con respecto a los requerimientos mencionados con anterioridad

Requerimientos	Cumple
Practicidad	✓
Conveniencia	✓
Seguridad	✓
Mantenimiento	✓
Reparación	✓
Manipulación	✓
Antropometría	✓
Ergonomía	✓
Percepción	✓
Transporte	✓



## 7.6 Costos

Dentro de los costos agregamos y tuvimos en cuenta que actualmente los costos de los biodigestores han cambiado, ya sea por la innovación, los materiales, la demanda, etc. La instalación de un biodigestor varía de acuerdo con las necesidades y capacidad requerida.

El proceso para conocer los costos totales abarca un rango muy amplio y diversos aspectos a considerar para determinar el costo total del proyecto; sin embargo, en este caso se dará a conocer el costo estimado de la propuesta aplicando la fórmula del costo de producción y así tener el estimado del biodigestor. Por ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Costos de producción} = \text{costos de materia prima} + \text{costos de mano de obra directa} + \text{costos indirectos de fabricación}$$

Teniendo en cuenta la fórmula, enfocándonos en la producción y tomando en cuenta el proceso de fabricación del biodigestor que fue de 50 litros.

Dicho esto, se presenta la siguiente tabla de costos por unidad de producción.

Materia Prima	Concepto	Precio Unitario	Total	Piezas
Tapón de limpieza sanitario	Conducción de aguas residuales	\$16.90	\$101.40	6pz
Segmento corto de tubo	Tubería Pvc Sanitario 4" 100 Mm, 6 M. Resistente A La Corrosión.	\$195.00	\$780	4pz
Tubo PVC sanitario	Tubería Pvc Sanitario 6" 160 Mm, 6 M Resistente A La Corrosión.	\$487.60	\$975	2pz
Tubo de PVC para la tubería de salida del efluente	Polietileno y polietileno de alta densidad (PE y HDPE)	\$187	\$748	4pz
Adaptador de tanque para conectar la válvula.	Permite la limpieza y lavado de, evitando cualquier tipo de fuga, Multiconector con valvula y conexión. No genera óxido ni sarro.	\$289.00	\$578	2pz

Tanque de acero inoxidable	Tanque de 50Lt	\$8,580	\$8,580	1 pz
Geosintéticos (Recubrimiento Polietileno de alta densidad) GM13	Las geomembranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) son las que tienen la especificación GM13. Entre 1.5 mm de espesor y 6 metros de ancho	\$12,100	\$12,100	1pz (Rollo) Largo de 6-8 metros Ancho de 2-3 metros
Válvula de esfera con roscas.	Válvula esfera compacta de ½", color gris doble unión. Las válvulas esféricas compactas ofrecen un funcionamiento de encendido y apagado.	\$137	\$882	6pz
Bombas de mezcla	Bomba magnética agrícola de circulación, impulsor de bomba química, resistente a ácidos y Bases débiles, 110V, 220V, 6W, 11L/min	\$ 4,061	\$ 4,061	1pz
Medidores	Medidor para Gas Tipo Diafragma para 2,5 m3/h Metrex G1,6	\$1,327.00	\$1,327.00	1pz
Sistema de filtración	Sistema de filtración básica de dos pasos flujo 0.5 gpm micras nominales 5	\$790	\$790	1pz
Sistema de iluminación	Uminaria Vial 100w Con Fococelda 10,000lm 6500k 85-305v Ip65	\$1,902.39	\$1,902.39	1pz
			<b>Costo Total: 32,824.79</b>	

Tomando en cuenta, un presupuesto completo incluye la instalación del equipo, asesoramiento sobre su funcionamiento y uso del digestor a los usuarios y contemplar los componentes que se requieren para consumir el biogás y los depósitos, tanto el de material que usará el biodigestor como el de descarga de fertilizantes.

Aparte del presupuesto que se ve implicado en la instalación en sí del biodigestor, existen otros gastos que debe considerar, como referente a la bomba de riego del fertilizante, generador de electricidad, lámparas de biogás para la generación de luz o calor, entre otros.



Entonces podemos decir que en conclusión son diferentes aspectos los que involucran el costo total de un biodigestor. Eso incluye en nuestro caso el uso de materiales que ayuden al cuidado del medio ambiente. Su uso se convierte directamente en una herramienta de mitigación de la contaminación, manejando correctamente los residuos, evitando la deforestación, produciendo fertilizantes naturales y evitando el uso de químicos. También existen beneficios indirectos como son salud, higiene, aumento de producción agropecuaria y tratamiento adecuado de residuos.

Realmente los costes de instalación frente a todo esto resulta ser de muy bajo costo, es decir, económico.



## VIII. CONCLUSIONES

Después de analizar las potencialidades de los biodigestores en la Guadalupe Guerrero, se puede concluir que:

Los biodigestores son una tecnología viable y sostenible para la generación de energía renovable y la reducción de residuos orgánicos en la región. Sin embargo, es crucial considerar los aspectos técnicos de operación y mantenimiento para asegurar su eficiencia y longevidad.

Después en la implementación de un biodigestor en la Guadalupe Guerrero requiere la selección de geomembranas adecuadas para garantizar la eficiencia y sostenibilidad del proceso. Después de analizar las características y requerimientos específicos de la región, se concluye que las geomembranas ideales para un biodigestor en la Guadalupe Guerrero deben poseer:

Propiedades de resistencia a la corrosión, durabilidad y flexibilidad para soportar las condiciones climáticas y operativas de la región. Además, deben ser impermeables a los gases y líquidos, y tener una alta resistencia a la abrasión y desgaste.

Características de permeabilidad selectiva para permitir la liberación de biogás y retener los sólidos y líquidos. También deben tener una baja tendencia a la obstrucción y ser fáciles de limpiar y mantener. Los materiales como el poliéster, polipropileno y PVC son adecuados debido a su resistencia química y estabilidad térmica.



## Consideraciones Culturales, Sociales y Ambientales del Biodigestor

El diseño del biodigestor para la comunidad de La Guadalupe Guerrero considera:

- Aspectos culturales y sociales: Se han involucrado a líderes comunitarios y usuarios en el proceso de diseño para garantizar la aceptación y sostenibilidad del proyecto.
- Subproductos del proceso de digestión anaeróbica: El biofertilizante generado puede mejorar la productividad agrícola local, reducir el uso de fertilizantes químicos y promover prácticas sostenibles.
- Impacto ambiental: Se ha evaluado el impacto de la producción y disposición de materiales, priorizando materiales reciclados y locales, y minimizando residuos y emisiones de gases de efecto invernadero.

El cuestionario aplicado a 50 pequeños agricultores de la Guadalupe Guerrero reveló que el 80% de los encuestados consideraba la eficiencia energética como el principal beneficio de los biodigestores. Además, el 75% mencionó la reducción de residuos orgánicos y el 60% destacó la posibilidad de generar ingresos adicionales a través de la venta de biogás. Estos resultados subrayan la necesidad de un diseño que priorice la producción de energía eléctrica para uso doméstico y la disminución de los costos asociados a la gestión de residuos.

Después de un proceso de investigación y diseño, se conceptualizó un biodigestor apto para la región, tomando en cuenta que las necesidades de los agricultores basándonos en el cuestionario de allí partimos al diseño se enfoca en proporcionar energía a través del uso de este ayudando a los agricultores en la Guadalupe Guerrero. La propuesta fue renderizada en un modelo 2D y 3D para visualizar su funcionamiento y apariencia. Además, se creó un modelo 3D detallado para mostrar la complejidad y precisión del diseño.



De acuerdo con la hipótesis que se planteó podemos decir que en el resultado final es que, si se elaborara un biodigestor de 50 litros que genera un 75% de biogás, podemos estimar la cantidad de luz o energía que se puede producir de la siguiente manera:

- Biogás producido:  $0,75 \times 1,5$  metros cúbicos al día (máximo estimado) = 1,125 metros cúbicos al día
- Energía generada: 1,125 metros cúbicos al día  $\times$  21,5 MJ/m<sup>3</sup> (energía contenida en el biogás) = 24,19 MJ/día
- Energía generada en kWh:  $24,19 \text{ MJ/día} / 3,6 \text{ MJ/kWh} = 6,71 \text{ kWh/día}$

Teniendo en cuenta que el biodigestor realizado tiene 50L, y con los parámetros usados en los requerimientos de uso, podemos decir que la hipótesis se cumple.

Además, para concluir, los biodigestores son una herramienta muy efectiva para su uso en proyectos tanto de construcción como industriales. En nuestro caso fue más allá de un simple uso orgánico.

Y mejorando la calidad de vida de los trabajadores de la zona, aumentando sus rangos de trabajo y ayudando a disminuir los riesgos laborales en el sector agrario.



## IX. REFERENCIAS DE CONSULTA

Acosta, Y. L., & Abreu, M. C. O. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. Revista de la Facultad de Ingeniería, 14(2), 133-144.

Aguilar, M. S., Pérez-Manríquez, G. B., & Díaz, G. G. (2011). Enfermedades potenciales derivadas de factores de riesgo presentes en la industria de producción de alimentos. Medicina y Seguridad del Trabajo, 57(225), 300-312.

Apolonio, V. V. J., Deb, R. A., & René, P. R. (s.f.). Biogás, la energía renovable para el desarrollo de granjas porcícolas en el estado de Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 10(3), 369-384.

Batstone, D. J., Puyol, D., Flores-Alsina, X., & Rodríguez, J. (s.f.). Modelado matemático de procesos de digestión anaeróbica: aplicaciones y necesidades futuras. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 14(4), 595-613.

David. (2021, 2 de diciembre). Biogás: Qué es, características, cómo se produce, ventajas y desventajas. EnergioTech.

De Bienestar, S. (s.f.). Programa Sembrando vida.

Díaz Salazar, S. A. (s.f.). Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética para familias del área rural.

Edwin, R. V. (2021, 18 de noviembre). Diseño de un alojamiento rural ecoturístico en el sector de Los Naranjos, Santa Marta-Magdalena.

El dragón del nuevo fuego. (2017). Biodigestor y sostenibilidad.



El Horticultor. (2022). Cómo hacer un biodigestor casero – planos e instrucciones paso a paso.

ESTUDIO DEL IMPACTO SOBRE LA SALUD DE LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS A LAS QUE ESTÁN EXPUESTOS LOS TRABAJADORES DEL SECTOR AGRARIO. (s.f.).

Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaeróbica para producción de biogás. (2008, 12 de enero).

Experiencias latinoamericanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios: aportes a Ecuador. (s.f.). Centro y Red de Tecnología del Clima.

Flores, R. C. T. (2019). Política energética: problemas y posibles soluciones.

Economía UNAM, 16(46), 109-117.

Fundación Aquae. (s.f.). Qué es un biodigestor y cómo funciona el biogás. Geoproyectos y diseños ambientales. (s.f.).

Geosai. (s.f.). Geosintéticos - Qué es un geosintético.

Heinrich, M. (2012). La crítica de la economía política de Marx. Revista de Economía Crítica, 14, 11-34.

Hernández. (s.f.). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

Huertas, R. A. P. (2015a). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria.



Huertas, R. A. P. (2015b). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria Instituto Internacional de Recursos Renovables, AC.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2019). Impactos del cambio climático en México.

Marx, K. (1867). El Capital. Crítica de la economía política.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). Informe sobre el Desarrollo Sostenible.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). Informe sobre Desarrollo Humano.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Sistema Bio. (2024, 2 de agosto). Para agricultores - sistema bio.

Universidad de Piura. (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado.

