

# **UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS  
RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

## **TESIS**

**"DESARROLLO DE UN BIODIGESTOR PARA APLICACIONES  
URBANAS"**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**PRESENTA:  
ALAN TRUJILLO LÓPEZ**

**DIRECTORES DE TESIS:  
MTRO. ÓSCAR MARTÍNEZ AGUIRRE  
DR. NEÍN FARRERA VÁZQUEZ**

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS

12 DE NOVIEMBRE DEL 2024





Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas  
Dirección de Servicios Escolares  
Departamento de Certificación Escolar  
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
Fecha: 12 de noviembre de 2024

C. Alan Trujillo López

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
Desarrollo de un biodigestor para aplicaciones urbanas

En la modalidad de: Tesis Profesional

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

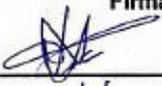
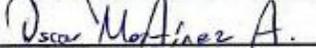
Revisores

Dr. Neín Farrera Vázquez

Dra. Aracely López Grijalva

Mtro. Oscar Martínez Aguirre

Firmas:

Ccp. Expediente



## **DEDICATORIA**

### ***A MIS PADRES.***

EFRAIN TRUJILLO Y ARELI LÓPEZ, POR ESTAR PRESENTES Y APOYARME EN CADA PASO ACADÉMICO DE MI VIDA, CREER EN MI, CRIARME CON BUENOS VALORES, Y BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE CRECER ACADÉMICAMENTE FUERA DEL ESTADO.

### ***A MIS ABUELAS.***

CELIA LÓPEZ Y CECILIA VALDIVIESO, POR QUERERME TANTO, CRIARME Y APOYARME EN TODA MI VIDA.

### ***A MI HERMANO.***

WILLIAMS TRUJILLO, POR AYUDARME EN LAS COSAS QUE LE HE PEDIDO SU APOYO, ESPERANDO SER UN BUEN EJEMPLO PARA ÉL EN SU VIDA.

### ***A MIS TÍAS Y PRIMOS.***

POR DARME SIEMPRE LOS CONSEJOS Y APOYO NECESARIOS PARA ENFOCARME Y VER POR MI FUTURO PROFESIONAL Y PERSONAL.

## **AGRADECIMIENTO**

### ***A MIS PADRES.***

POR EL APOYO Y ESFUERZO INCONDICIONAL QUE HAN HECHO POR MI AL DARMEME LA MEJOR VIDA POSIBLE Y ESTAR CONMIGO EN TODO MOMENTO.

### ***A MI DIRECTOR DE TESIS.***

AL MTRO. ÓSCAR MARTÍNEZ AGUIRRE, POR DARMEME LA OPORTUNIDAD DE PRESENTARME EN EL PROYECTO DE MI TESIS Y BRINDARME SU APOYO EN SU REALIZACIÓN.

### ***A LOS DOCTORES JOEL MOREIRA Y NEÍN FARRERA.***

POR OFRECERME LA OPORTUNIDAD DE REALIZAR MI PROYECTO, BRINDÁNDOME LAS HERRAMIENTAS, MATERIALES, ASESORAMIENTO Y SABIOS CONSEJOS QUE HAN IMPACTADO EN MI COMO PERSONA Y PROFESIONAL.

### ***A MIS FAMILIARES.***

POR HABER CREÍDO EN MI DESDE EL PRIMER MOMENTO Y BRINDARME SU APOYO INCONDICIONAL.

### ***A MIS AMIGOS.***

MARIO, CARLOS, LUIS ALBERTO, FRANCISCO, ADRIÁN, QUE HAN SIDO MI FORTALEZA EN TIEMPOS DIFÍCILES, AYUDÁNDOME A PASAR CADA PRUEBA EN MI VIDA.

### ***A LA UNICACH.***

POR PRESENTARME LA OPORTUNIDAD DE ENTRAR A LA CARRERA Y POR PROPORCIONARME MI FORMACIÓN ACADÉMICA.

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo fundamental la implementación a escala piloto de un biodigestor diseñado específicamente para el uso doméstico. Su propósito principal es permitir la transformación eficiente de la materia orgánica generada en los hogares en biogás, que puede ser utilizado para la cocción de alimentos, así como para producir bioabono que beneficie a huertos familiares. Esta innovación no solo busca proveer fuentes de energía sostenibles, sino también promover prácticas agrícolas más limpias y responsables.

Para asegurar el éxito de este proyecto, se llevará a cabo una evaluación continua de la tecnología utilizada, lo que permitirá realizar mejoras constantes en el sistema y obtener un dispositivo que cumpla con los estándares necesarios para ser producido en serie y comercializado. Divulgar el uso de esta tecnología en el estado de Chiapas es un aspecto crucial, dado que la región enfrenta retos significativos en cuanto a la gestión de residuos y el acceso a fuentes de energía sostenible.

El sistema diseñado incluye un reactor principal que se encargará de llevar a cabo el proceso de biodigestión de manera efectiva. Además, está compuesto por subsistemas que facilitan el almacenamiento, el transporte y la adecuación de la energía producida. Para maximizar la eficiencia del proceso, también se incorporará un sistema de precalentamiento que optimizará las condiciones de biodigestión, garantizando que la transformación de los residuos orgánicos se realice de la manera más eficaz posible. En última instancia, este proyecto no solo tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de las comunidades al facilitar el acceso a energía limpia y fertilizantes orgánicos, sino que también contribuirá a la sostenibilidad ambiental de la región.

### 1. Palabras clave

Biodigestor doméstico, biogás, bioabono, energía renovable, biodigestión, tecnología sostenible.

## ABSTRACT

The main objective of this project is the pilot-scale implementation of a biodigester designed specifically for domestic use. Its main purpose is to enable the efficient transformation of organic matter generated in homes into biogas, which can be used for cooking food, as well as to produce biofertilizer that benefits family gardens. This innovation not only seeks to provide sustainable energy sources, but also to promote cleaner and more responsible agricultural practices.

To ensure the success of this project, a continuous evaluation of the technology used will be carried out, which will allow for constant improvements to the system and obtain a device that meets the standards necessary to be mass-produced and marketed. Disseminating the use of this technology in the state of Chiapas is a crucial aspect, given that the region faces significant challenges in terms of waste management and access to sustainable energy sources.

The designed system includes a main reactor that will be responsible for carrying out the biodigestion process effectively. In addition, it is composed of subsystems that facilitate the storage, transportation and adaptation of the energy produced. To maximise the efficiency of the process, a pre-heating system will also be incorporated to optimise the biodigestion conditions, ensuring that the transformation of organic waste is carried out in the most efficient way possible. Ultimately, this project not only has the potential to improve the quality of life of communities by facilitating access to clean energy and organic fertilisers, but will also contribute to the environmental sustainability of the region.

### 1. Keywords

Domestic biodigester, biogas, biofertilizer, renewable energy, biodigestion, sustainable technology.



## ÍNDICE

DEDIDATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN .....	4
1. Palabras clave.....	4
ABSTRACT .....	5
1. Keywords .....	5
GENERALIDADES.....	12
1. Introducción.....	13
1.1. Antecedentes .....	13
1.1.1. Historia y evolución de los biodigestores.....	13
1.1.2. Impacto de los biodigestores a nivel global .....	13
1.1.3. Investigaciones sobre Biodigestores en Áreas Urbanas.....	14
1.1.4. Tecnología de Biodigestores para Ciudades .....	14
1.1.6. Proyectos Similares en la Región .....	15
1.1.7. Sustentabilidad e Impacto Social.....	16
1.1.9. Conclusión de los antecedentes .....	17
1.2. Planteamiento del problema.....	18
1.3. Justificación.....	18
1.4. Objetivo general .....	19
1.4.1. Objetivos específicos.....	19
1.5. Hipótesis .....	19
2. Introducción.....	20
2.1. ¿Qué es un biodigestor? .....	20



2.2.	Beneficios sociales y ambientales de un biodigestor .....	20
2.3.	Tipos de biodigestores.....	20
2.4.	Principios de la Digestión Anaeróbica .....	21
2.5.	Aplicaciones Urbanas de los Biodigestores.....	22
2.6.	Estudios Previos y Modelos de Biodigestores Urbanos.....	23
2.7.	Marco Legal y Normativo para Biodigestores en Zonas Urbanas.....	24
2.8.	Impacto Social y Sostenibilidad .....	24
2.9.	Conclusión del Marco Teórico .....	25
3.	Introducción.....	26
3.1.	Diseño del Biodigestor .....	26
1.2.1.	Selección de Materiales.....	30
1.2.2.	Herramientas Utilizadas .....	30
2.	Introducción.....	32
2.2.	Resultados .....	32
2.2.1.	Diseño del biodigestor .....	32
	Conclusiones.....	73
	Trabajos a futuro.....	74
	Bibliografías .....	75
	Anexos.....	79

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Contenedores.....	38
Ilustración 2. Ficha técnica del contenedor. ....	38
Ilustración 3. Embudo.....	39
Ilustración 4. Sistema de remoción. ....	39
Ilustración 5. Sistema de drenado. ....	40
Ilustración 6. Sistema de desplazamiento de biogás.....	40
Ilustración 7. Estructura de soporte.....	41
Ilustración 8. Materiales utilizados.....	42
Ilustración 9. Herramientas utilizadas.....	43
Ilustración 10. Recorte de la parte superior del contenedor. ....	44
Ilustración 11. Recorte de la parte superior del segundo recipiente que se encontrará en la parte inferior. ....	45
Ilustración 12. Vista previa de la parte superior del recipiente dentro del segundo. ....	45
Ilustración 13. Resultado de los orificios realizados. ....	46
Ilustración 14. Muestra de orificios realizados para el sistema de remoción.....	46
Ilustración 15. Instalación de válvula de salida.....	47
Ilustración 16. Abertura realizada.....	48
Ilustración 17. Bases del sistema de remoción. ....	49
Ilustración 18. Perforación en los contenedores para la introducción de tornillos de plástico. ....	49
Ilustración 19. Incorporación de bases de sistema de remoción e integración de tornillos de plástico en el contenedor. ....	49
Ilustración 20. Diseño final de los remos del sistema de remoción. ....	50

Ilustración 21. Realización de los cortes para la realización de los remos del sistema de remoción.....	50
Ilustración 22. Tubería que permite la introducción de materia orgánica en el biodigestor con su abrazadera correspondiente.....	51
Ilustración 23. Armado de abrazadera en la tubería.....	51
Ilustración 24. Vista previa de los remos y tubería agregada para brindar mejor estabilidad al biodigestor.....	52
Ilustración 25. Contenedores colocados de tal forma.....	53
Ilustración 26. Corte de material para la estructura.....	54
Ilustración 27. Imagen de referencia de la estructura.....	54
Ilustración 28. Estructura de soporte armada y soldada. ....	55
Ilustración 29. Biodigestor colocado dentro de la estructura. ....	55
Ilustración 30. Pintura de la estructura. ....	56
Ilustración 31. Biodigestor recubierto de fibra de vidrio. ....	56
Ilustración 32. Fibra de vidrio utilizada. ....	56
Ilustración 33. Vista del biodigestor hacia arriba, mostrando la parte superior de este. ....	57
Ilustración 34. Colocación de tubería por donde saldría el biogás. ....	58
Ilustración 35. Posiciones en las que se fijaron las soleras en forma circular. ....	58
Ilustración 36. Medición del recubrimiento. ....	59
Ilustración 37. Recorte del recubrimiento de la estructura. ....	59
Ilustración 38. Fijación del recubrimiento a la estructura de metal. ....	59
Ilustración 39. Vista del recubrimiento siendo colocado.....	60
Ilustración 40. Recorte del recubrimiento del lado correspondiente al sistema de remoción.....	60
Ilustración 41. Sistema de remoción listo. ....	61

Ilustración 42. Recorte de la tapadera de la estructura. ....	61
Ilustración 43. Tapadera posicionada en su lugar correspondido. ....	61
Ilustración 44. Biodigestor desde una vista lateral. ....	62
Ilustración 45. Biodigestor casi culminado. ....	62
Ilustración 46. Agregado de tuberías faltantes para la recolección del bioabono. .	62
Ilustración 47. Base para el concreto. ....	63
Ilustración 48. Llenado del área asignada del biodigestor con graba. ....	63
Ilustración 49. Verificación de la correcta posición de los polines de madera. ....	63
Ilustración 50. Integración de material para mezcla. ....	64
Ilustración 51. Proceso de mezcla de concreto. ....	64
Ilustración 52. Relleno del área del biodigestor. ....	64
Ilustración 53. Esparcimiento del cemento. ....	64
Ilustración 54. Resultado final del piso. ....	65
Ilustración 55. Vista diferente del piso. ....	65
Ilustración 56. Etapa final de la construcción del biodigestor. ....	66
Ilustración 57. Prueba de fuga de aire con solución jabonosa. ....	67
Ilustración 58. Prueba de agua para la verificación de retención de gas y elevación del contenedor. ....	68
Ilustración 59. Compresor ingresando aire en el biodigestor. ....	69
Ilustración 60. Recolección de estiércol. ....	70
Ilustración 61. Carga de estiércol. ....	70
Ilustración 62. Estiércol. ....	71
Ilustración 63. Mezcla de estiércol con agua. ....	71
Ilustración 64. Mezcla final de estiércol con agua. ....	71
Ilustración 65. Vertimiento de la materia orgánica. ....	71

Ilustración 66. Materia orgánica vaciada por completo. ....	71
Ilustración 67. Prueba del sistema de remoción.....	71
Ilustración 68. Revisión del correcto funcionamiento de las llaves.....	79
Ilustración 69. Ajuste del recubrimiento a la estructura. ....	79
Ilustración 70. Prueba con solución jabonosa para comprobación de fugas de aire. .....	80
Ilustración 71. Medición entre separación de soleras.....	80
Ilustración 72. Perforación en el recubrimiento para darle paso al sistema de remoción.....	81
Ilustración 73. Final de la prueba de agua. ....	81
Ilustración 74. Compra de arena para realizar el piso del biodigestor.....	82
Ilustración 75. Recolección de graba. ....	82
Ilustración 76. Prueba hidráulica para comprobación del correcto funcionamiento del biodigestor.....	83
Ilustración 77. Realización de piso del biodigestor.....	83
Ilustración 78. Equipo de trabajo con el biodigestor.....	84
Ilustración 79. Vista distinta del biodigestor terminado.....	84

## CAPITULO 1 - GENERALIDADES

### GENERALIDADES

El biodigestor doméstico propuesto responde a la necesidad de reducir el impacto ambiental de los desechos orgánicos generados en las viviendas. Este tipo de tecnología tiene el potencial de mejorar las condiciones de vida, promover una cultura ambiental y contribuir a la autosuficiencia energética de las familias.

El biodigestor doméstico que se propone en esta investigación surge como una respuesta fundamental ante la creciente necesidad de mitigar el impacto ambiental ocasionado por los desechos orgánicos producidos en los hogares. Su objetivo es convertir los residuos orgánicos en biogás y bioabono, proporcionando así una alternativa sostenible y eficiente para manejar los desechos.

La implementación de esta tecnología no solo busca abordar la problemática de los residuos, sino que también tiene el potencial de transformar de manera positiva las condiciones de vida de los habitantes. Además, al promover el uso de energías renovables y productos orgánicos, se fomenta una cultura de conciencia ambiental que puede educar a las comunidades sobre la importancia de gestionar sus recursos de manera responsable. En última instancia, el biodigestor doméstico contribuye a la autosuficiencia energética de las familias, ofreciendo una fuente de energía renovable que puede ayudar a la vez a reducir costos y a garantizar una mayor seguridad en el hogar.

## **1. Introducción**

En este capítulo, se presentan los antecedentes necesarios para entender el contexto, aplicaciones y el potencial de los biodigestores en entornos urbanos. Primero, se analizará la evolución de esta tecnología y su uso en el tratamiento de residuos. Luego, se discutirá la implementación y funcionamiento de biodigestores en el ámbito doméstico. Finalmente, se revisarán experiencias previas en Chiapas y contextos similares.

### **1.1. Antecedentes**

#### **1.1.1. Historia y evolución de los biodigestores**

Los biodigestores tienen sus raíces en prácticas antiguas de manejo de residuos, pero su desarrollo moderno comenzó en el siglo 19 con la investigación sobre la digestión anaeróbica. A lo largo del tiempo, se han adaptado para satisfacer diversas necesidades, desde el tratamiento de residuos en áreas rurales hasta su implementación en entornos urbanos. En la actualidad, los biodigestores son reconocidos como una solución eficaz para la gestión de residuos orgánicos y la producción de energía renovable, especialmente en contextos donde la sostenibilidad es prioritaria. [1]

#### **1.1.2. Impacto de los biodigestores a nivel global**

A nivel global, los biodigestores han demostrado ser efectivos tanto en entornos rurales como urbanos. En las zonas rurales, permiten la transformación de residuos agrícolas y estiércol en biogás y fertilizantes orgánicos, contribuyendo a la autosuficiencia energética y la mejora de suelos. [2]

En entornos urbanos, su implementación ha ayudado a gestionar grandes volúmenes de residuos orgánicos, reduciendo la presión sobre los vertederos y generando energía limpia que puede ser utilizada localmente. [3]

### **1.1.3. Investigaciones sobre Biodigestores en Áreas Urbanas**

Estudios de casos específicos Diversos proyectos de biodigestores han sido implementados en ciudades de América Latina, Asia y Europa. Por ejemplo, en Brasil y Colombia se han establecido biodigestores comunitarios que gestionan residuos orgánicos y generan biogás para uso doméstico. Estos proyectos no solo han mejorado la gestión de residuos, sino que también han proporcionado beneficios económicos a las comunidades involucradas. [4]

Resultados y limitaciones de estos estudios Los resultados han mostrado una reducción significativa en la cantidad de residuos enviados a vertederos y un aumento en la producción de biogás. Sin embargo, también se han identificado limitaciones como el espacio disponible para su instalación, los costos iniciales elevados y la aceptación social entre los residentes urbanos. [5]

### **1.1.4. Tecnología de Biodigestores para Ciudades**

#### **Desarrollo y avances tecnológicos recientes**

Recientemente, se han desarrollado biodigestores modulares y compactos que son especialmente útiles para áreas urbanas con limitaciones espaciales. Estos sistemas permiten una instalación más sencilla y una operación más eficiente, utilizando tecnologías automatizadas que optimizan el proceso anaeróbico. [6]

## **Aplicación de tecnologías emergentes**

La integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas y el monitoreo remoto está revolucionando el diseño y operación de los biodigestores urbanos. Estas tecnologías permiten un seguimiento más preciso del rendimiento del sistema y facilitan ajustes operativos en tiempo real, mejorando así la eficiencia general del proceso. [7]

### **1.1.5. Aspectos Legales y Normativos**

#### **Regulaciones ambientales sobre biodigestores**

Las normativas vigentes sobre el uso de biogás y el manejo de residuos orgánicos varían significativamente entre países. En naciones pioneras como Alemania y Suecia, existen regulaciones bien establecidas que fomentan el uso de biodigestores como parte integral del manejo sostenible de residuos. [8]

#### **Retos regulatorios en zonas urbanas**

En muchas ciudades densamente pobladas, los obstáculos regulatorios incluyen restricciones sobre dónde se pueden instalar los biodigestores y complicaciones relacionadas con el cumplimiento normativo. [9]

### **1.1.6. Proyectos Similares en la Región**

#### **Referencias a proyectos locales**

En varios países latinoamericanos se han llevado a cabo proyectos exitosos que utilizan biodigestores para gestionar residuos orgánicos. Por ejemplo, iniciativas en

Perú han demostrado cómo estos sistemas pueden mejorar no solo la gestión de desechos sino también proporcionar energía renovable a comunidades desfavorecidas. [9]

### **Lecciones aprendidas de estos proyectos**

Los proyectos locales han resaltado tanto aspectos positivos como negativos. Entre las lecciones aprendidas se encuentran la importancia del involucramiento comunitario para asegurar la aceptación social y la necesidad de financiamiento adecuado para superar las barreras iniciales. [10]

#### **1.1.7. Sustentabilidad e Impacto Social**

##### **Estudios sobre impacto social de biodigestores**

Investigaciones previas han indicado que los biodigestores no solo contribuyen a una mejor gestión ambiental, sino que también generan conciencia sobre prácticas sostenibles entre las comunidades urbanas. Esto incluye educación ambiental sobre el manejo adecuado de residuos y sus beneficios. [10]

##### **Impacto en la sostenibilidad urbana**

La implementación de biodigestores ha demostrado ser un factor clave para mejorar la sostenibilidad urbana al reducir significativamente los residuos sólidos y generar energía limpia que puede ser utilizada localmente. [10]

### **1.1.8. Desarrollo de biodigestores en Chiapas**

En el 2016, Luis Antonio Vázquez Valencia realizó una tesis sobre el Sistema integral de generación de energía eléctrica por medio de biogás. [11]

En el 2017, Laura Velez Landa realizó una tesis sobre la Evaluación de los parámetros de operación de un biodigestor rígido modelo DM1. [12]

En el 2019, Fidel Eurípides Atúnez Collings, realizó una tesis sobre el Desarrollo de una estufa ecológica multifuncional leña-biogás. [13]

En el 2019, Marco Antonio Palafox Matus realizó una tesis sobre el Desarrollo y evaluación de un filtro para la reducción de dióxido de carbono presente en el biogás, aplicable al sistema de biodigestores DM1. [14]

### **1.1.9. Conclusión de los antecedentes**

Los antecedentes revisados evidencian la relevancia e importancia del desarrollo e implementación de biodigestores en entornos urbanos. La historia muestra cómo esta tecnología ha evolucionado para adaptarse a diferentes contextos y necesidades, mientras que investigaciones recientes destacan su impacto positivo tanto ambiental como socialmente. Estos hallazgos justifican plenamente la necesidad de investigar más a fondo y desarrollar un modelo específico de biodigestor adaptado a las condiciones urbanas actuales.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El mal manejo de residuos orgánicos en los hogares representa un problema serio con múltiples consecuencias ambientales, sanitarias y económicas. La falta de separación y tratamiento adecuado de estos residuos provoca la contaminación del suelo y agua, afectando los ecosistemas acuáticos debido al exceso de nutrientes y patógenos. Además, la descomposición de estos residuos en vertederos genera gases de efecto invernadero, como metano y CO<sub>2</sub>, que contribuyen al cambio climático. La acumulación de desechos atrae plagas y animales, lo que incrementa los riesgos de salud pública al ser vectores de enfermedades. También se desperdician nutrientes valiosos que podrían ser utilizados para mejorar suelos mediante el compostaje, contribuyendo a la agricultura sostenible. Asimismo, los malos olores generados afectan la calidad de vida de las personas, mientras que el aumento en el volumen de residuos incrementa los costos de gestión para los gobiernos. Por último, este problema afecta negativamente la biodiversidad, ya que los desechos alteran los hábitats naturales.

## **1.3. Justificación**

Los biodigestores permiten transformar los residuos orgánicos en biogás y fertilizantes naturales mediante un proceso de digestión anaerobia, que no solo reduce la cantidad de residuos que llegan a los vertederos, sino que también evita la emisión de gases nocivos al aprovechar el metano generado como fuente de energía renovable. El uso de biodigestores domésticos contribuye a un manejo más sostenible de los desechos, promueve el aprovechamiento de recursos y reduce los costos de gestión de residuos, a la vez que genera energía limpia y fertilizantes para uso en jardines y huertos. Así, los biodigestores representan una solución ambientalmente responsable, que ayuda a reducir el impacto negativo de los residuos orgánicos en el medio ambiente, y promueve la autosuficiencia energética a nivel doméstico.

## 1.4. Objetivo general

Desarrollar un biodigestor doméstico para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y a su vez generar biogás y bioabono, promoviendo un uso eficiente de los recursos y reduciendo su impacto negativo en el ambiente.

### 1.4.1. Objetivos específicos

- Diseñar un biodigestor que aproveche los residuos orgánicos que se generan diariamente en los hogares.
  1. Determinación de la cantidad de residuos generados diariamente
  2. Determinación de la cantidad de biogás generado.
  3. Realización de los cálculos de diseño
  
- Construir un sistema de biodigestión que incluya un reactor principal, subsistema de almacenamiento, subsistema de agitación, subsistema distribución de biogás y drenado de bioabono.
  1. Selección de materiales.
  2. Compra de materiales.
  3. Construcción del biodigestor.

## 1.5. Hipótesis

El uso de biodigestores domésticos en las viviendas chiapanecas permitirá reducir el impacto ambiental de los residuos orgánicos y generar biogás para la cocción de alimentos, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de las familias.

## CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2. Introducción

En este capítulo se presentan los conceptos básicos de temas relacionados a un biodigestor, como su funcionamiento, componentes e importancia en el país, especialmente en el estado de Chiapas, esto para tener una mejor percepción del tema tratado y comprender de mejor manera el contenido del documento.

#### 2.1. ¿Qué es un biodigestor?

Un biodigestor domestico es un sistema que permite el tratamiento de residuos orgánicos mediante un proceso de fermentación anaeróbica, es decir, en presencia de agua y ausencia de oxígeno. Esto se logra a través de la acción de bacterias que descomponen la materia orgánica y la convierten en biogás, bioabono y fertilizante. bioabono) en ausencia de oxígeno y presencia de agua.

#### 2.2. Beneficios sociales y ambientales de un biodigestor

- Disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reduce la dependencia de combustibles no renovables.
- Disminuye los contaminantes en aguas residuales.
- Elimina vectores transmisores de enfermedades. [16]

#### 2.3. Tipos de biodigestores

##### **Biodigestores de flujo continuo:**

Permiten la entrada constante de materia orgánica y son ideales para instalaciones grandes.

### **Biodigestores por lotes:**

Se cargan completamente antes de iniciar el proceso y no permiten más adiciones hasta que se complete la digestión.

### **Biodigestores tipo laguna:**

Son estructuras simples que utilizan el espacio natural para la digestión, adecuado para zonas rurales.

Los biodigestores más adaptables a entornos urbanos son los de flujo continuo y los de mezcla completa, ya que pueden manejar residuos generados constantemente en las ciudades. [16]

## **2.4. Principios de la Digestión Anaeróbica**

**Proceso biológico La digestión anaeróbica se desarrolla en varias etapas:**

- Hidrólisis: Descomposición de compuestos complejos en moléculas más simples.
- Acidogénesis: Conversión de estas moléculas en ácidos grasos volátiles.
- Acetogénesis: Transformación de los ácidos en acetato y otros compuestos.
- Metanogénesis: Producción final de metano a partir del acetato y otros productos intermedios [16]

### **Microorganismos involucrados:**

Los microorganismos clave en este proceso incluyen bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas. Las condiciones ideales para su desarrollo suelen ser temperaturas entre 30-40°C y un pH cercano a 7. [17]

### **Factores que afectan el rendimiento.**

**El rendimiento del biodigestor puede verse influenciado por factores como:**

- Temperatura: Afecta la actividad microbiana.
- Tipo de materia orgánica: La composición determina la cantidad de biogás producido.
- Relación carbono/nitrógeno (C/N): Una relación adecuada (generalmente entre 20:1 y 30:1) es crucial para una digestión eficiente. [17]

## **2.5. Aplicaciones Urbanas de los Biodigestores**

### **Necesidad de biodigestores en zonas urbanas:**

La implementación de biodigestores en áreas urbanas es esencial debido a la creciente generación de residuos sólidos. Las ciudades enfrentan desafíos significativos en el manejo eficiente de estos residuos, lo que justifica el uso de tecnologías sostenibles como los biodigestores. [18]

### **Beneficios ambientales:**

Los biodigestores contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero al aprovechar los residuos orgánicos y disminuir su acumulación en vertederos. Además, producen biogás que puede utilizarse como fuente energética renovable.

[18]

### **Beneficios económicos:**

La generación de energía limpia mediante biodigestores puede traducirse en ahorros económicos significativos para las ciudades. Esto incluye la reducción en costos relacionados con el manejo de residuos y la posibilidad de vender el biogás producido. [18]

## **2.6. Estudios Previos y Modelos de Biodigestores Urbanos**

### **Casos de estudio:**

Se han implementado diversos proyectos exitosos en países como Alemania e India, donde los biodigestores urbanos han demostrado ser efectivos tanto en diseño como en operación, generando beneficios económicos y ambientales significativos. [19]

### **Modelos de diseño y tecnologías disponibles:**

Los diseños actuales incluyen sistemas compactos y modulares que son ideales para entornos urbanos. Las tecnologías emergentes, como los sistemas

automatizados para monitoreo y control del proceso digestivo, están mejorando la eficiencia operativa. [19]

### **Limitaciones y desafíos:**

Las limitaciones comunes incluyen el espacio disponible para su instalación, la inversión inicial necesaria y la falta de conocimiento sobre su operación entre los usuarios potenciales. [19]

## **2.7. Marco Legal y Normativo para Biodigestores en Zonas Urbanas**

### **Regulaciones ambientales:**

Las leyes ambientales locales influyen significativamente en la implementación de biodigestores. Estas regulaciones suelen abordar aspectos relacionados con el manejo adecuado de residuos sólidos y emisiones contaminantes. [20]

## **2.8. Impacto Social y Sostenibilidad**

### **Impacto en la comunidad:**

La instalación de biodigestores puede fomentar una mayor conciencia ambiental entre los ciudadanos al involucrarlos activamente en la gestión sostenible de residuos. [20]

### **Educación ambiental:**

Los proyectos relacionados con biodigestores pueden servir como herramientas educativas efectivas que promueven prácticas sostenibles entre las comunidades urbanas. [21]

### **Aceptación social y cultural:**

Es fundamental abordar las percepciones sociales sobre los biodigestores; estrategias como talleres informativos pueden mejorar su aceptación pública y fomentar su uso generalizado. [21]

## **2.9. Conclusión del Marco Teórico**

En resumen, los biodigestores representan una solución viable para gestionar residuos orgánicos en entornos urbanos. Este marco teórico resalta su importancia no solo desde una perspectiva ambiental sino también económica, apoyando así el desarrollo e implementación efectiva de modelos específicos adaptados a las necesidades urbanas actuales. La integración adecuada de esta tecnología puede contribuir significativamente a un futuro más sostenible en las ciudades.

## CAPITULO 3: METODOLOGÍA

### 3. Introducción

En este capítulo se muestran los pasos a seguir para el desarrollo del prototipo de biodigestor propuesto para la implementación en zonas urbanas, desde el diseño, la construcción y unas evaluaciones preliminares.

#### 3.1. Diseño del Biodigestor

El primer paso en la metodología consistió en la realización del diseño del biodigestor, el cual se llevó a cabo realizando ecuaciones ya establecidas para determinar sus dimensiones y que a la vez cumpla con características óptimas para satisfacer las necesidades del propósito del proyecto. La construcción de este se hizo con materiales asequibles que se consiguen fácilmente en cualquier ferretería.

1. Para el realizar el diseño primero se determinó la cantidad de residuos orgánicos que genera en promedio una vivienda donde habitan 5 personas.
2. Determinamos la producción de biogás diario a través de la siguiente ecuación:

$$C = (C_b)(N_{kg})$$

$C$  = Cantidad de biogás producida

$C_b$  = Cantidad de producción de biogás diario por residuos residenciales

$N_{kg}$  = Número de kg de residuos producido

3. Determinamos la cantidad de agua necesaria para completar el proceso empleando la siguiente ecuación.

$$C_a = (E_r)(F_m)$$

$C_a$  = Cantidad de agua

$E_r$  = Cantidad de materia organica requerida

$F_m$  = Factor de mezcla

4. Establecemos la cantidad de mezcla necesaria a través de la siguiente ecuación:

$$T_m = E_r + C_a$$

$T_m$  = Cantidad total de mezcla a utilizar

$E_r$  = Cantidad de materia organica requerida

$C_a$  = Cantidad de agua

5. Contemplamos la holgura en la cantidad de mezcla necesaria para garantizar la producción necesaria. Para ello se considera de entre un 20% y 30% de holgura en la cantidad de la mezcla total.

$$T'_m = (T_m) (1.3)$$

$T'_m$  = Cantidad total de mezcla contemplando holgura

$T_m$  = Cantidad total de mezcla a utilizar

1.3 = Holgura

6. Determinamos el volumen de biodigestor a través de la siguiente ecuación:

$$V_b = (T_r)(T'_m)$$

$V_b$  = Volumen del biodigestor

$T_r$  = Tiempo de la retención hidráulica

$T'_m$  = Cantidad total de mezcla contemplando holgura

7. Establecemos el volumen final del biodigestor contemplando un pre-almacenamiento diario de entre un 30% y 40% de biogás.

$$V_t = [(C_{bg} * u) + V_b]$$

$V_t$  = Incremento del volumen del biodigestor

$C_{bg}$  = Cantidad de biogás generada en un día

$u$  = Pre – almacenamiento interno

$V_b$  = Volumen del biodigestor

8. Calculamos el subsistema de almacenamiento de bioabono contemplando un excedente del 30%.

$$T_b = (1.3)(T'_m)$$

$T_b$  = Subsistema de almacenamiento de bioabono

1.3 = Holgura

$T'_m$  = Cantidad total de mezcla contemplando holgura

9. Calculamos la producción del subsistema de almacenamiento primario reutilizando la ecuación del paso 7.

$$C_{bg} = (E_r) (C_b)$$

$C_{bg}$  = Cantidad de biogás generada en un día por vivienda

$E_r$  = Cantidad de materia orgánica requerida

$C_b$  = Cantidad de producción de biogás diario por residuos residenciales por 1kg

10. Determinamos que nuestro biodigestor será del tipo hindú, ya que el sistema de almacenamiento, la carga del reactor está en el mismo dispositivo, esto nos permite ahorrar espacio, ya que como lo hemos mencionado, será para uso doméstico. El cilindro que se usará para el reactor tendrá 1 m de altura para fines prácticos. Para calcular el diámetro de nuestro cilindro utilizamos la fórmula

general del volumen  $V = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * h$

$V$  = Volumen

$D$  = ?

$h$  = Altura

11. Nuestro dispositivo estará conformado por los siguientes subsistemas:

- Un reactor donde se lleva a cabo el proceso de biodigestión.
- Un embudo de entrada para la materia orgánica.
- Un sistema de remoción para homogenizar la materia orgánica.
- Un sistema de drenado.
- Un sistema de desplazamiento del biogás.
- Una estructura de soporte.

## **1.2. Construcción del biodigestor**

En esta fase se analizará detalladamente cada uno de los procedimientos involucrados en la construcción del biodigestor. Esto incluye la selección de materiales y herramientas necesarias para la construcción de nuestro dispositivo. Se tomarán medidas precisas para la ejecución de cortes específicos y el ensamblaje meticuloso de los materiales utilizados. Cada componente del biodigestor se ubicó de acuerdo con el diseño planificado. Adicionalmente, se llevarán a cabo una serie de pruebas pertinentes para garantizar la correcta funcionalidad y eficiencia del sistema, asegurando que se cumplan los estándares de calidad establecidos.

### **1.2.1. Selección de Materiales**

Una vez aprobado el diseño, se procederá a la selección de materiales para la construcción del biodigestor. Esta fase implica la identificación de los componentes adecuados, teniendo en cuenta propiedades como la durabilidad, la resistencia a la corrosión y la disponibilidad local. Los criterios de selección se basan en la comparación de materiales que se alinearán con el diseño realizado, garantizando el rendimiento óptimo del biodigestor y su adecuada integración en el entorno doméstico.

### **1.2.2. Herramientas Utilizadas**

Se seleccionarán y prepararán las herramientas necesarias para la fabricación de las distintas partes del biodigestor. Se realizará un inventario considerando que estas varían según la naturaleza y el uso de cada componente del biodigestor, desde herramientas básicas de corte y ensamblaje hasta dispositivos eléctricos, se asegurará que cada herramienta esté disponible y en condiciones adecuadas para su uso.



Finalmente se harán unas pruebas para determinar la hermeticidad del biodigestor utilizando agua, solución jabonosa y aire a presión, es decir para la detección de posibles fugas en los orificios realizados a los contenedores y en las uniones de las tuberías, permitiendo así un óptimo funcionamiento del dispositivo sin permitir perdidas de aire o materia orgánica.

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 2. Introducción

Este capítulo aborda la realización del biodigestor a través de todo su proceso iniciando desde cero, destacando y describiendo cada proceso que llevó su construcción, desde el recorte de los contenedores, ensamblaje de tuberías, la construcción de la estructura de metal y todo lo que conllevó este proceso.

### 2.2. Resultados

#### 2.2.1. Diseño del biodigestor

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las ecuaciones para el diseño del Biodigestor de residuos domiciliarios.

1.- Para el diseño como lo indica nuestra metodología en primer lugar se determinó la cantidad de materia orgánica promedio que genera una vivienda de 5 personas. El resultado lo obtuvimos de la bibliografía que dice que el promedio de residuos generado diariamente por persona es de 0.5 kg, entonces en un hogar donde habitan 5 personas se generan 2.5 kg de residuos orgánicos. [22]

2.- Para determinar la cantidad producida de biogás diaria ( $E_r$ ), se multiplica la cantidad de residuos domiciliarios utilizados para su uso en una vivienda, que en promedio es 2.5 kg, por el estimado de producción de biogás por kilogramo de residuos domiciliarios orgánicos que equivale a 0.05 m<sup>3</sup> de biogás por día.

La operación fue la siguiente:

$$E_r = (0.05 \text{ m}^3/\text{día})(2.5 \text{ Kg}) = 0.125 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$E_r = \text{Cantidad de materia orgánica requerida}$$

$0.125 \text{ m}^3 / \text{día}$ , representa la cantidad de biogás que se produciría diariamente usando esta cantidad de residuos orgánicos.

**3.-** Después calculamos la cantidad de agua necesaria para completar para el proceso de mezclado con la materia orgánica, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Ca = (Er)(Fm)$$

$C_a$  = Cantidad de agua

$E_r$  = Cantidad de materia orgánica requerida

$F_m$  = Factor de mezcla

Para hacer el cálculo, se tomó el valor de residuos por día, que es  $2.5 \text{ kg/día}$  y multiplicamos por el factor de mezcla 2 (Para una mezcla estiércol: agua 1:2), lo que nos da:

$$Ca = (2.5 \text{ kg/día})(2) = 5 \text{ kg/día}$$

Así el resultado indica que se necesitan  $5 \text{ kg/día}$  de agua para completar el proceso utilizando una proporción de mezcla de 1:2 (estiércol: agua).

**4.-** Posteriormente calculamos la cantidad total de mezcla necesaria para el proceso, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Tm = Er + Ca$$

$T_m$  = Cantidad total de mezcla a utilizar

$E_r$  = Cantidad de materia orgánica requerida

$C_a$  = Cantidad de agua

Para obtener el resultado, se sumaron los valores de  $E_r$  y  $C_a$  que ya se ha calculado:

$$E_r = 2.5 \text{ kg/día (residuos orgánicos)}$$

$$C_a = 5 \text{ kg/día (agua)}$$

Para este cálculo se aplica la fórmula:

$$T_m = 2.5 \text{ kg/día} + 5 \text{ kg/día} = 7.5 \text{ kg/día}$$

La cantidad de mezcla necesaria diariamente para el proceso en el biodigestor es de  $7.5 \text{ kg/día}$ .

5.- Una vez calculado lo anterior procedimos a hacer el cálculo para garantizar que haya suficiente mezcla en el biodigestor y asegurar una producción estable de biogás, se añadió un margen de seguridad u holgura en la cantidad de mezcla necesaria, este margen se calcula como un 20% a 30% adicional de la mezcla total para cubrir cualquier variación en los residuos o en el proceso.

Para incluir la holgura, se utilizó el siguiente cálculo:

$$T'_m = (7.5 \text{ kg}) (1.3) = 9.75 \text{ kg/día}$$

$T'_m =$  Cantidad total de mezcla contemplando holgura

$T_m =$  Cantidad total de mezcla a utilizar

1.3 = Holgura

Esto significa que, con un 30% de holgura, la cantidad de mezcla necesaria sería  $9.75 \text{ kg/día}$ .

6.- Después calculamos el volumen necesario del biodigestor, para esto se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_b = (T_r)(T'_m)$$

$V_b =$  Volumen del biodigestor

$T_r =$  Tiempo de la retención hidráulica

$T'_m =$  Cantidad total de mezcla contemplando holgura

Para realizar el cálculo, se ha considerado el tiempo de retención hidráulica ( $T_r$ ) de 30 días, esto significa que cada día se agregará al biodigestor una cantidad de mezcla equivalente a 1/30 del volumen total.

Usando los valores dados:

$$V_b \text{ Mezcla} = (30 \text{ días}) (9.75) = 292.5 \text{ kg}$$

Así, el volumen total necesario para el biodigestor es de 292.5 kg, lo que indica la capacidad que el biodigestor debe tener para sostener este proceso de digestión con una retención de 30 días.

7.- Para calcular el volumen final de biodigestor, se toma en cuenta un prealmacenamiento diario del biogás producido. Este prealmacenamiento es un incremento en el volumen total que permite almacenar el biogás adicional que se genera a diario, generalmente entre un 30% y 40% de la capacidad de producción diaria de biogás.

La fórmula utilizada es:

$$V_t = [(C_{bg} * u) + V_b]$$

$V_t =$  Incremento del volumen del biodigestor

$C_{bg} =$  Cantidad de biogás generada en un día

$u =$  Pre – almacenamiento interno

$V_b =$  Volumen del biodigestor

Sustituyendo los valores, primero se calcularía la parte de prealmacenamiento y luego se sumaría este valor al volumen base del biodigestor:

$$Vt = [(0.125 \text{ m}^3 * 1.4) + 0.293 \text{ m}^3] = 0.468 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen final necesario del biodigestor es de  $0.468 \text{ m}^3$  para incluir tanto la mezcla como el prealmacenamiento de biogás.

**8.-** Después calculamos el tamaño del subsistema de almacenamiento de bioabono, se considera un excedente del 30% en la cantidad de mezcla diaria. Esto se hace para asegurar que haya suficiente capacidad de almacenamiento en caso de variaciones o excedentes en la producción de bioabono.

La fórmula utilizada es:

$$Tb = (1.3)(T'm)$$

$T_b$  = Subsistema de almacenamiento de bioabono

1.3 = Holgura

$T'_m$  = Cantidad total de mezcla contemplando holgura

Sustituyendo los valores, se calcula el resultado siguiente:

$$Tb = (1.3)(9.75 \text{ kg}) = 12.6754 \text{ kg}$$

Así, el subsistema de almacenamiento de bioabono debe tener una capacidad de  $12.6754 \text{ kg}$ .

**9.-** Por último, calculamos la producción del subsistema primario de biogás, se reutiliza la ecuación que permite estimar el volumen de biogás generado a partir de la cantidad de residuos.

La fórmula utilizada es:

$$Cbg = (2.5) (0.05 \text{ m}^3/\text{kg})$$

$C_{bg}$  = Cantidad de biogás generada en un día por vivienda

$E_r$  = Cantidad de materia orgánica requerida

$C_b$  = Cantidad de producción de biogás diario por residuos residenciales por 1kg

Sustituyendo los valores, se calcula el siguiente resultado:

$$C_{bg} = (2.5) (0.05 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0.125 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la producción de biogás estimada para el subsistema de almacenamiento primario es de  $0.125 \text{ m}^3$ .

**10.-** Para la selección del cilindro que se usará para el reactor determinamos que tendrá 1 m de altura y un volumen de  $0.468 \text{ m}^3$ , como lo indica la ecuación número 6, para determinar el diámetro de nuestro cilindro utilizamos la fórmula general del

$$\text{volumen } V = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 * h$$

$V$  = Volumen

$D$  = ?

$h$  = Altura

Despejamos la fórmula para determinar el diámetro:  $D = 2 * \sqrt{\frac{V}{\pi * h}}$

En este caso:

$$V = 0.468 \text{ m}^3$$

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

$$\text{Sustituimos } D = 2 * \sqrt{\frac{0.468 \text{ m}^3}{\pi * 1}}$$

El diámetro del cilindro es de **0.772 m**

## 11.- Nuestro dispositivo estará conformado por los siguientes subsistemas

Los resultados de los cálculos realizados para el diseño de nuestro dispositivo indican que nuestro reactor será de 1 m de altura, 0.776 m de diámetro y un volumen de 0.468 m<sup>3</sup>. Este dispositivo es un biodigestor del tipo hindú, debido a que su integración está todo en un solo dispositivo.

### Reactor de biodigestión.

Para fines prácticos se seleccionó un contenedor comercial, debido a la accesibilidad que este presenta de ser obtenido en cualquier comercio y porque se adapta a las medidas del diseño que realizamos.

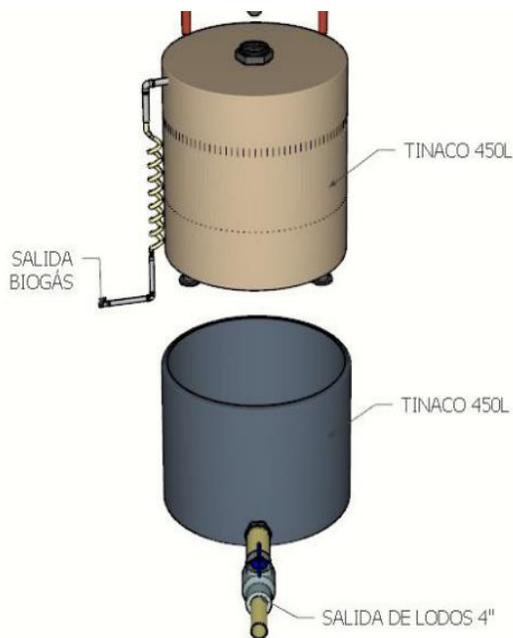


Ilustración 1. Contenedores.

### Tinaco Garantía de por vida

#### Especificaciones Técnicas

- Material fabricado con PELBD (Polietileno lineal de baja densidad) de color beige por fuera y blanco por dentro.
- Capacidades desde 450 L hasta 2 500 L que incluyen Tapa con arillo de 18", Válvula con Flotador de 3/4", Multiconector con Válvula y Filtro con Cartucho.

#### Cuadro de capacidades

##### Tinaco Garantía de por vida

Capacidad	Diámetro	Altura	Personas
450 L	0.85 m	0.99 m	2
600 L	0.97 m	1.12 m	3
750 L	1.10 m	1.02 m	4
1 100 L	1.10 m	1.40 m	5
2 500 L	1.55 m	1.60 m	10

##### Tinaco Garantía de por vida horizontal

Capacidad	Largo	Altura	Ancho	Personas
1 100 L	1.30 m	1.21 m	1.14 m	5
1 100 L*	1.43 m	1.05 m	1.14 m	5

\*Reforzado.

#### Accesorios que equipan a un Tinaco Garantía de por vida

- Válvula de Llenado.
- Multiconector con Válvula Esfera y Tuerca Unión.
- Flotador # 5.
- Jarro de Aire.
- Filtro Estándar.

\*\*Garantía por 3 años.



Ilustración 2. Ficha técnica del contenedor.

### Embudo de entrada para materia orgánica.

Para facilitar la entrada de materia orgánica se diseñó un embudo que tiene de diámetro de 20 cm, estará hecho de material de PVC.

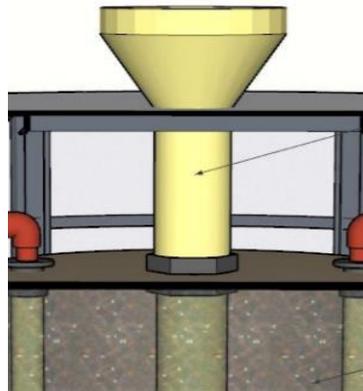


Ilustración 3. Embudo.

### Sistema de remoción

Se implementó un sistema de remoción para evitar el asentamiento de materia orgánica y que la generación de biogás sea estable, este sistema está hecho con tubos de material de PVC, que tienen 5 cm de diámetro.

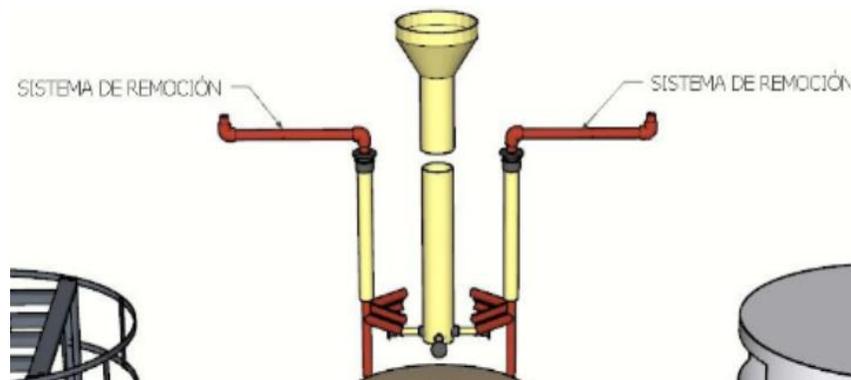


Ilustración 4. Sistema de remoción.

## Sistema de drenado

El sistema de drenado es básicamente aquel que se encarga de drenar el bioabono que genere el biodigestor, este estará constituido por una válvula de paso y tubería de material PVC.

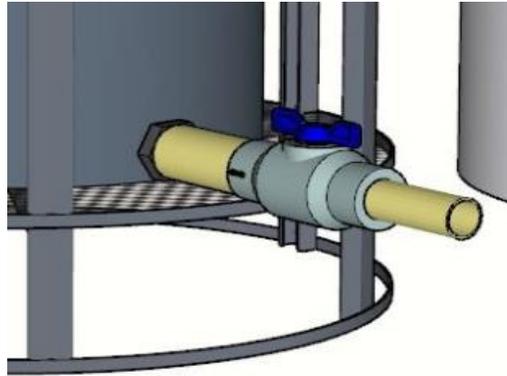


Ilustración 5. Sistema de drenado.

## Sistema de desplazamiento del biogás

Se encarga de distribuir el biogás generado a cualquier fuente a la que sea destinada, como lo podría ser una estufa, el cual estaría construido por tubería de material PVC y una manguera de material flexible.

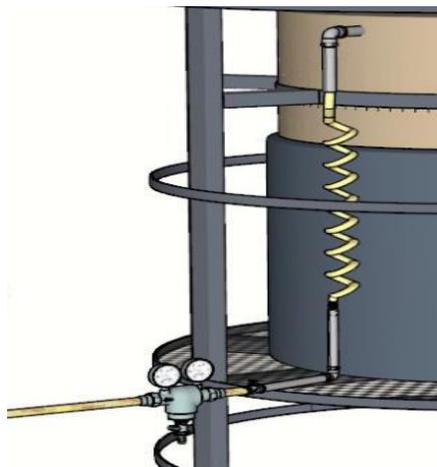


Ilustración 6. Sistema de desplazamiento de biogás.

## Estructura de soporte

La estructura de soporte se encarga de sostener el biodigestor a determinada altura y cubrirlo del exterior, además de darle una mejor resistencia, este sistema estará conformado por material de metal.



Ilustración 7. Estructura de soporte.

### 2.2.2. Construcción del biodigestor

Después de hacer el diseño de biodigestor pasamos al proceso de construcción, primero se seleccionaron los materiales, después las herramientas necesarias y por último procedimos a construir el dispositivo anteriormente diseñado.

## Selección de materiales

Para la construcción del biodigestor se seleccionaron los siguientes materiales, tomando en cuenta su adaptabilidad, resistencia y estética.

- Contenedores de 450 litros
- Tubos PVC
- Montenes
- Soleras
- Tornillos de plástico
- Recubrimiento de plástico rígido
- Fibra de vidrio
- Manguera flexible
- Válvulas de agua
- Tapaderas de tubería
- Abrazadera de PVC
- Roscas de PVC
- Tornillos auto taladrables



Ilustración 8. Materiales utilizados.

## Herramientas utilizadas para la construcción del biodigestor

Las herramientas fueron seleccionadas tomando en cuenta los materiales mencionados anteriormente, considerando el desempeño que cada una podría tener en base a las características de los materiales y la estructura deseada del biodigestor.

- Tijera lamina grande
- Flexómetro



Al utilizar esta pieza como un embudo de forma invertida, se facilitará la circulación del gas producido durante el proceso de biodigestión, lo que no solo mejorará la eficiencia del sistema, sino que también garantizará una mejor recolección y aprovechamiento del biogás generado. Este enfoque es fundamental para maximizar el rendimiento del biodigestor y asegurar su correcto funcionamiento en el contexto de la transformación de materia orgánica en energía utilizable.



Ilustración 10. Recorte de la parte superior del contenedor.

En consecuencia, la modificación del recipiente se considera un elemento clave en la configuración del sistema, ya que, en base a la colocación de la parte superior del contenedor en forma de embudo invertido, permitirá un mejor flujo del biogás hacia la parte superior del biodigestor.

A continuación, se llevó a cabo un procedimiento similar en el segundo contenedor, el cual también requirió un corte en su parte superior. Este segundo contenedor desempeñará un papel crucial en el sistema, ya que su diseño permitirá que el primero se hunda en función de la cantidad de biogás o de residuos orgánicos que se incorporen al sistema o, en su defecto, que se produzcan durante el proceso de biodigestión, es decir, este fungirá como nuestro sistema de almacenamiento.



Ilustración 11. Recorte de la parte superior del segundo recipiente que se encontrará en la parte inferior.



Ilustración 12. Vista previa de la parte superior del recipiente dentro del segundo.

Se llevó a cabo la perforación de tres orificios en la sección inferior del primer contenedor, que presenta un acabado de color blanco. Estos orificios han sido diseñados estratégicamente para servir a dos propósitos fundamentales en el funcionamiento del biodigestor. En primer lugar, se incorporará un embudo que facilitará la introducción de la materia orgánica en el sistema, asegurando que los residuos se puedan depositar de manera efectiva y controlada en el interior del biodigestor.

En segundo lugar, los orificios también están destinados a albergar un sistema de remoción, el cual jugará un papel esencial en la mezcla y agitación de la materia orgánica. Este sistema permitirá revolver los contenidos dentro del biodigestor, lo que es vital para garantizar una adecuada circulación y homogeneización de la materia orgánica en proceso de biodigestión. Tal agitación es crucial para optimizar

la actividad microbiana, ya que promueve un entorno uniforme que favorece la degradación anaeróbica de los residuos.

En suma, la implementación de estos orificios no solo facilitará la introducción y mezcla de la materia orgánica, sino que también contribuirá a mejorar la eficiencia del biodigestor en su conjunto.



Ilustración 13. Resultado de los orificios realizados.



Ilustración 14. Muestra de orificios realizados para el sistema de remoción.

Posteriormente, se procedió a la instalación de una válvula de salida en la sección inferior del segundo contenedor, el cual se distingue por su color negro. Esta válvula desempeña un papel crítico en el funcionamiento del sistema, pues su propósito principal es facilitar la liberación del bioabono generado a lo largo del proceso de biodigestión.

El diseño y la implementación de esta válvula son fundamentales para garantizar un manejo eficaz del bioabono, que es un producto altamente beneficioso derivado de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica acumulada en el biodigestor. Al habilitar una salida controlada para el bioabono, se busca optimizar el acceso de los usuarios a este fertilizante orgánico, que puede ser utilizado en jardines y huertos, favoreciendo prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente.



Ilustración 15. Instalación de válvula de salida.

Posteriormente, se realizó una abertura en el contenedor de color blanco con el propósito de permitir que la válvula instalada en el segundo recipiente pudiera salir sin restricciones. Esta modificación es crucial, ya que el diseño del sistema contempla que el recipiente blanco se elevará en función de la cantidad de biogás generado. Al habilitar esta abertura, se garantiza que la válvula funcione correctamente, facilitando la liberación del bioabono sin verse afectada por el movimiento del recipiente. De esta manera, se optimiza el rendimiento del biodigestor al asegurar un flujo adecuado y controlado de los subproductos generados durante el proceso de biodigestión.



Ilustración 16. Abertura realizada.

Se le realizaron los cortes y adherencias de las bases del sistema de remoción para sostenerlas de una manera más fija y solida que permita un mejor movimiento generando una mejor producción de bacterias para la generación del biogás y bioabono.

Una vez que se hicieron los cortes adecuados, se colocaron de manera correcta las piezas que se tenían al momento, fijándolas con tornillos de material de plástico, ya que el entorno dentro del biodigestor no permitiría que los tornillos de metal persistieran, porque se oxidarían. Seguido de esto se les insertó los tornillos en sus espacios correspondientes de la manera adecuada para que no variara su posición de manera incorrecta.



Ilustración 17. Bases del sistema de remoción.



Ilustración 18. Perforación en los contenedores para la introducción de tornillos de plástico.

Continuando con la implementación del sistema de remoción, se procedió a la fabricación de las paletas destinadas a facilitar el movimiento de la materia orgánica dentro del biodigestor. Estas paletas fueron diseñadas específicamente para garantizar la operación de manera efectiva sin comprometer su integridad estructural.



Ilustración 19. Incorporación de bases de sistema de remoción e integración de tornillos de plástico en el contenedor.

El diseño adoptado para las paletas es fundamental, ya que debe permitir que se mantengan firmes y estables dentro del entorno del biodigestor, sin ceder ante el espesor y la densidad que la materia orgánica puede presentar durante el proceso de biodigestión. Este aspecto es crítico para asegurar que la agitación de los residuos se realice de manera eficiente, promoviendo una mezcla homogénea que favorezca la actividad microbiana y, por ende, la producción de biogás.



Ilustración 20. Diseño final de los remos del sistema de remoción.



Ilustración 21. Realización de los cortes para la realización de los remos del sistema de remoción.

En los orificios que se crearon en la parte inferior del contenedor de color blanco, se insertaron unas tuberías de dimensiones específicas, diseñadas para integrarse adecuadamente sin obstruir la estructura del biodigestor. Esta consideración es fundamental, ya que una correcta disposición de las tuberías es esencial para el flujo eficiente de biogás en el sistema.

Adicionalmente, se incorporó una abrazadera, la cual fue seleccionada cuidadosamente por su capacidad para sujetar otras tuberías de un lado a otro de la estructura. Esta abrazadera no solo proporciona estabilidad y soporte a las conexiones, sino que también juega un papel crucial en la prevención de posibles filtraciones de gas. Tal filtración podría ocurrir si algún orificio se hubiese realizado

incorrectamente o si las conexiones entre las tuberías no estuviesen debidamente selladas.

La implementación de este sistema de tuberías y abrazaderas asegura que el biodigestor funcione de manera óptima y hermética. Al minimizar el riesgo de fugas, se contribuye significativamente a la eficiencia del sistema en la recolección y utilización del biogás producido.



Ilustración 22. Tubería que permite la introducción de materia orgánica en el biodigestor con su abrazadera correspondiente.



Ilustración 23. Armado de abrazadera en la tubería.

Después se procedió a instalar las tuberías de soporte en las áreas previamente designadas, conectando de manera firme los dos contenedores con la tubería principal, que constituye el eje central del sistema de biodigestión. Esta configuración no solo sirve como canal de flujo, sino que aporta un refuerzo significativo a la estructura del biodigestor, dotándolo de una mayor estabilidad y robustez que es esencial para su operación prolongada.

La integración de estas tuberías fue realizada con precisión para evitar fugas y asegurar un flujo adecuado de materiales. Además, se añadieron paletas que se construyeron y calibraron previamente, pensados específicamente para facilitar la mezcla uniforme de la materia orgánica en el interior de los contenedores. Estas paletas son fundamentales para optimizar la digestión de los residuos orgánicos, asegurando que la materia se mezcle de manera homogénea y evitando el estancamiento, lo que contribuye a un rendimiento más eficiente del biodigestor.

Tras concluir esta fase del ensamblaje, se procedió a invertir el contenedor blanco y posicionarlo cuidadosamente dentro del contenedor negro, asegurándose de que encajara de forma óptima en la estructura. Este paso resultó fundamental, ya que permitió establecer un punto de referencia que facilitó la inspección del montaje y permitió verificar si el contenedor blanco descendía de manera adecuada sobre la estructura sin encontrar resistencia o interferencias que pudieran dificultar su función en el biodigestor.



Ilustración 24. Vista previa de los remos y tubería agregada para brindar mejor estabilidad al biodigestor.

Las observaciones fueron detalladas y meticulosas, revelando que el contenedor blanco encajaba perfectamente en el fondo, sin que se presentaran complicaciones o problemas de alineación. Esta precisión es crucial para el funcionamiento del sistema, ya que cualquier desajuste podría afectar la eficiencia del proceso de biodigestión, en especial cuando el sistema se encuentra en condiciones operativas.



Ilustración 25. Contenedores colocados de tal forma

Se inició la construcción de la estructura de soporte donde se instalaría el biodigestor. Para la elaboración de esta estructura se seleccionaron cuidadosamente materiales como montenes y soleras, que se soldaron de manera precisa y resistente para formar una base sólida y segura.

Esta etapa es de suma importancia, ya que proporciona el soporte estructural necesario que permitirá que el biodigestor mantenga su estabilidad a lo largo del tiempo, resistiendo tanto el peso de los contenedores como el movimiento interno de los fluidos. La selección de estos materiales se basó en criterios de durabilidad y resistencia, considerando las condiciones ambientales y de operación a las que el

biodigestor estará expuesto. La estructura final asegura que el biodigestor funcione de manera segura y confiable, proporcionando una base estable y duradera.



Ilustración 26. Corte de material para la estructura.



Ilustración 27. Imagen de referencia de la estructura.

Con la estructura de soporte completamente construida y ajustada a las dimensiones necesarias, se procedió a colocar cuidadosamente el biodigestor en su posición final dentro de dicha estructura. Posteriormente, se cubrió el biodigestor con una capa protectora de materiales adicionales, entre ellos fibra de vidrio y cuerda, que fueron aplicados estratégicamente para asegurar el sistema en su lugar.

Estos materiales de recubrimiento proporcionan una protección adicional contra factores ambientales y fortalecen la integridad de la instalación, ayudando a mantener la temperatura interna y a proteger los componentes de daños físicos externos. Este paso concluye el proceso de montaje, proporcionando una protección óptima que mejora la funcionalidad del biodigestor y contribuye a su longevidad, asegurando que el sistema se mantenga en condiciones ideales para realizar su función de manera eficaz y continua.



Ilustración 28. Estructura de soporte armada y soldada.



Ilustración 29. Biodigestor colocado dentro de la estructura.

Una vez que se finalizó el ensamblaje y la soldadura de la estructura correspondiente al biodigestor, se llevó a cabo un proceso de pintura con el fin de darle a la misma de una mejor estética visual y de un aumento significativo en su resistencia frente a las diversas condiciones climáticas adversas que podría enfrentar en su operatividad.

Posteriormente, se procedió a aplicar un recubrimiento de fibra de vidrio en torno al biodigestor. Esta decisión se fundamentó en la necesidad de mantener una temperatura interna óptima, lo que resultaba esencial para la supervivencia de las bacterias encargadas de la digestión anaeróbica.



Ilustración 30. Pintura de la estructura.

Gracias a esta capa aislante, se lograba crear un ambiente más cálido dentro del biodigestor, lo que era especialmente importante durante las épocas más frías del año, garantizando así que la actividad metabólica de las bacterias no se viera afectada negativamente.



Ilustración 31. Biodigestor recubierto de fibra de vidrio.



Ilustración 32. Fibra de vidrio utilizada.

En una fase posterior del proyecto, se incorporó la parte superior realizada con material monten, cuya característica principal era ser una pieza removible. Esta

elección fue estratégica, ya que permitía dismantelar el biodigestor fácilmente en caso de que se necesitara realizar algún mantenimiento o incluso en situaciones donde se requiriera su traslado. La versatilidad del diseño no solo facilitaba la operación de retiro, sino que también contribuía a la funcionalidad general de la estructura en función de las necesidades futuras.



Ilustración 33. Vista del biodigestor hacia arriba, mostrando la parte superior de este.

En el paso siguiente, se llevó a cabo la instalación de la tubería designada para la salida correspondiente del biogás. Esta instalación fue considerada un aspecto crítico del diseño, ya que debía permitir el flujo controlado del biogás de manera eficiente hacia su destino final.

Se prestó especial atención a los diámetros de las tuberías y a su disposición, asegurando que el sistema de extracción de biogás funcionara de manera eficaz, evitando fugas y garantizando la seguridad en la operación.



Ilustración 34. Colocación de tubería por donde saldría el biogás.

La introducción de las soleras moldeadas en forma circular fue un aspecto de notable relevancia en la estructura del biodigestor. Esta incorporación no solo contribuía a aumentar la resistencia del dispositivo, sino que también era fundamental para mantener la forma cilíndrica deseada.



Ilustración 35. Posiciones en las que se fijaron las soleras en forma circular.

La adecuada conformación de estas soleras garantizaba una distribución uniforme de las cargas y presiones internas, lo que optimizaba la integridad estructural del biodigestor y prolongaba su vida útil.

Una vez completada la instalación de la parte superior, las soleras circulares y las tuberías necesarias, se llevó a cabo una medición precisa del área de la estructura del biodigestor.

Este paso fue necesario para la incorporación de una cobertura de plástico resistente que facilitaría la protección tanto de la estructura metálica como del recubrimiento de fibra de vidrio. Se determinó que serían necesarias dos láminas de plástico para cubrir adecuadamente la altura total del biodigestor. Este recubrimiento no solo ofrecía resguardo ante factores externos, sino que también aportaba un aspecto estético más atractivo al dispositivo.



Ilustración 36. Medición del recubrimiento.



Ilustración 37. Recorte del recubrimiento de la estructura.



Ilustración 38. Fijación del recubrimiento a la estructura de metal.

Con el recubrimiento debidamente fijado en su lugar, se realizaron las aberturas necesarias en él, permitiendo así que la tubería del sistema de remoción pudiera salir sin obstrucciones.



Ilustración 39. Vista del recubrimiento siendo colocado.



Ilustración 40. Recorte del recubrimiento del lado correspondiente al sistema de remoción.

Este proceso fue crucial para asegurar que el sistema pudiera operar correctamente, cumpliendo con su función de manera uniforme y efectiva. Las aberturas fueron diseñadas considerando el flujo óptimo del biogás y la actividad de las bacterias, para evitar interrupciones en el funcionamiento del biodigestor.

Una vez realizadas las aberturas, se avanzó en la fijación de las tuberías correspondientes, proporcionando a estas la forma adecuada que exige el sistema de remoción. Se dedicó especial atención a la alineación y anclaje de dichas tuberías para que el sistema pudiera desempeñar su labor con la mayor eficacia.

La correcta instalación de este componente fue esencial para garantizar la continuidad en la operación del biodigestor, contribuyendo a su eficiencia operativa.



Ilustración 41. Sistema de remoción listo.

Tras haber solucionado todos los detalles mencionados con anterioridad en relación con la estructura, se llevaron a cabo las mediciones necesarias en la parte superior del biodigestor. Este procedimiento fue importante para la elaboración de una tapadera que contara con un orificio específicamente diseñado para facilitar un acceso práctico al embudo, por donde se introducirían los residuos orgánicos.

La accesibilidad de este punto era vital para asegurar que la carga de residuos se realizara de manera eficiente, contribuyendo así al óptimo funcionamiento del biodigestor en su totalidad.



Ilustración 42. Recorte de la tapadera de la estructura.



Ilustración 43. Tapadera posicionada en su lugar correspondido.

Seguido de haber integrado la tapadera, el biodigestor adoptó casi al completo su diseño deseado.



Ilustración 44. Biodigestor desde una vista lateral.



Ilustración 45. Biodigestor casi culminado.

Se insertó una de las tuberías faltantes para aumentar su tamaño, que mejoraría su funcionamiento, sin mencionar que se retendrían las posibles fugas que presente la válvula con el paso del tiempo, dicha tubería sería por la que se recolectaría el bioabono del biodigestor.



Ilustración 46. Agregado de tuberías faltantes para la recolección del bioabono.

Seguido de esto, se procedió a realizar una base estable de concreto para el biodigestor, comenzando con emparejar el terreno donde se pretende realizar el piso, enseguida rodearlo con madera para que el concreto fresco no se esparza.



Ilustración 47. Base para el concreto.

Se consiguieron materiales como polines de madera, grava, arena, cemento, recipientes de 20 litros, para llevar a cabo un piso de concreto para que el biodigestor tuviese una base firme para mantenerlo en un espacio designado y lograra una mejor apariencia.



Ilustración 48. Llenado del área asignada del biodigestor con grava.



Ilustración 49. Verificación de la correcta posición de los polines de madera.

Se llevó a cabo la preparación de la mezcla del concreto, la cual sería destinada a la zona específica designada para su aplicación.



Ilustración 50. Integración de material para mezcla.



Ilustración 51. Proceso de mezcla de concreto.

Se realizó el esparcimiento de la mezcla de manera uniforme dentro del cuadro colocado en el área seleccionada.



Ilustración 52. Relleno del área del biodigestor.



Ilustración 53. Esparcimiento del cemento.

Se le agregó colorante en polvo de color rojo para darle una mejor apariencia a simple vista.



Ilustración 54. Resultado final del piso.



Ilustración 55. Vista diferente del piso.

La finalización del biodigestor se realizó cuando se ubicó correctamente en su espacio correspondiente, asegurando que todas las especificaciones técnicas se cumplieran y garantizando su funcionalidad.



Ilustración 56. Etapa final de la construcción del biodigestor.

### **Pruebas para determinar el buen funcionamiento del biodigestor**

Como se dijo anteriormente en la metodología, también se realizaron pruebas para verificar la hermeticidad del dispositivo y asegurar que no existieran filtraciones indeseadas. Esta prueba es un procedimiento crucial, ya que garantiza que el biodigestor funcione de manera eficiente y segura, evitando la pérdida de los productos generados y asegurando la integridad del sistema en su conjunto.

Se utilizó agua con jabón, con el objetivo de determinar cualquier posible existencia de fugas en su diseño. Esta fase del proceso se realizó de manera sistemática y meticulosa, considerando que la estanqueidad del biodigestor es un aspecto crucial para su funcionamiento eficiente y seguro.



Ilustración 57. Prueba de fuga de aire con solución jabonosa.

Como parte de las pruebas iniciales, se colocó un embudo de forma provisional en la entrada del contenedor para realizar una evaluación utilizando agua. Esta prueba tenía como propósito observar el comportamiento del contenedor blanco que funge como nuestro sistema de almacenamiento de biogás, se realizó en un ambiente controlado para confirmar que emergiera de manera adecuada a medida que se le añadía agua, imitando el proceso que ocurrirá cuando esté lleno de materia orgánica en condiciones reales de uso.



Ilustración 58. Prueba de agua para la verificación de retención de gas y elevación del contenedor.

Este experimento resulta fundamental para prever y ajustar el funcionamiento del biodigestor, ya que permite evaluar el desplazamiento y flotabilidad del contenedor (sistema de almacenamiento de biogás) en función del peso y volumen de la materia. Además, esta prueba garantiza que el sistema responderá correctamente bajo carga y presión, asegurando así una operación eficiente y evitando inconvenientes futuros durante la fase operativa.

### **Prueba con aire a presión**

Como parte de la simulación del funcionamiento operativo del biodigestor, se inyectó una cantidad controlada de aire en el sistema para facilitar el levantamiento del contenedor y evaluar su comportamiento en movimiento. Esta tarea se realizó mediante un compresor de aire de alta precisión, lo cual permitió un control exacto de la cantidad y presión de aire inyectado, asegurando que las condiciones

experimentales se asemejaran lo máximo posible a las condiciones de operación reales.



Ilustración 59. Compresor ingresando aire en el biodigestor.

La introducción de aire posibilita la evaluación del comportamiento de nuestro subsistema de almacenamiento de biogás de nuestro biodigestor, observamos que el sistema reacciona ante la presión y desplazamiento de la estructura flotante. Esta evaluación brinda información valiosa sobre la resistencia del contenedor y su capacidad de soportar cambios de presión interna, lo que es esencial para asegurar el rendimiento óptimo y la seguridad del biodigestor en su fase operativa.

La ausencia de fugas es un aspecto fundamental para garantizar la eficiencia del biodigestor, ya que cualquier escape de aire podría comprometer la producción de biogás y afectar negativamente la presión interna necesaria para su funcionamiento óptimo. Esta prueba es crucial, ya que un sistema hermético asegura que el biogás generado se conserve y canalice adecuadamente, maximizando la producción y la eficiencia del biodigestor.

Después de realizar las pruebas para determinar el buen funcionamiento del biodigestor se procedió a buscar estiércol de vaca para introducirlo en nuestro dispositivo y así acelerar la producción de bacterias, la materia orgánica se consiguió un rancho de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



Ilustración 60. Recolección de estiércol.



Ilustración 61. Carga de estiércol.

Una vez conseguida la materia orgánica, se procedió a combinarla con agua basándonos en la relación 1:2 (1 kg de estiércol por 2 L de agua), hasta obtener una mezcla homogénea, para luego agregarla al biodigestor cuidadosamente y posteriormente observar el comportamiento del sistema de remoción y el movimiento de los contenedores del biodigestor. Cabe aclarar que el llenado de estiércol en nuestro biodigestor es solo en la primera carga ya que nos ayudará a acelerar la producción de bacterias, las cargas posteriores serán sólo con los residuos orgánicos generados en la vivienda en donde se implementó.



Ilustración 62. Estiércol.



Ilustración 63. Mezcla de estiércol con agua.



Ilustración 64. Mezcla final de estiércol con agua.



Ilustración 65. Vertimiento de la materia orgánica.



Ilustración 66. Materia orgánica vaciada por completo.



Ilustración 67. Prueba del sistema de remoción.

## Discusión de resultados.

Si consideramos el cilindro de radio 42.5 cm y una altura de 1 m se puede estimar que el volumen a llenar de materia orgánica en la parte inferior o reactor principal es de  $0.468 m^3$  que podría ser redondeado a  $0.5 m^3$  y si de la campana o recipiente de almacenamiento aprovechamos aproximadamente entre el 30% al 50% de su capacidad total de almacenamiento se estaría almacenando aproximadamente  $0.125 m^3$  diarios que estimando que el consumo de un quemador de una estufa normal es de  $0.1 m^3/h$  entonces tendríamos funcionando aproximadamente 1.25 horas. Si se estima que  $1 m^3$  de mezcla de residuos orgánicos con agua puede generar entre 0.2 y  $0.5 m^3$  de biogás en condiciones óptimas, entonces los  $0.5 m^3$  podría aportar  $0.125 m^3$  de biogás bajo condiciones óptimas. La producción real puede variar dependiendo de la eficiencia del proceso y las condiciones ambientales, la calidad del estiércol, la relación de mezcla con agua y la temperatura ambiente.

## Conclusiones

Se diseñó un biodigestor que cumple con las características necesarias para garantizar el procesamiento de residuos orgánicos para una vivienda de 5 personas, que generan aproximadamente 2.5 kg de desechos orgánicos, lo que representa una generación 0.125 m<sup>3</sup> de biogás diariamente.

Se construyó un prototipo de biodigestor de modelo tipo hindú el cual está conformado por un biorreactor, un subsistema de entrada de materia orgánica, un subsistema de remoción, un subsistema de drenado, un subsistema de desplazamiento de biogás y una estructura de soportarte. El dispositivo esta hecho con materiales asequibles, lo cual es importante para poder ser replicado e instalado de manera masiva.

Este proyecto representa un avance significativo hacia la adopción de tecnologías sostenibles en el manejo de residuos orgánicos domésticos, con el potencial de impactar positivamente en la vida diaria de las personas.

Además, la experiencia adquirida durante este proceso sienta las bases para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la gestión de residuos orgánicos.

Cabe mencionar que el biodigestor ya se encuentra implementado en un hogar y se espera que para trabajos a futuros se evalúe su eficiencia y la producción de biogás.



## Trabajos a futuro

- Evaluación del biodigestor en condiciones reales de operación.
  
- Realización del dispositivo a una mayor a escala.
  
- Implementación masiva del dispositivo.

## Bibliografías

1. *Sostenibilidad Ambiental: Reduciendo la Huella de Carbono.* (2024, abril 30). *Miogas | Biogás al alcance de todos.* <https://miogas.com/blog/sostenibilidad-ambiental-reduciendo-la-huella-de-carbono/>
2. Rose, M. (2024, junio 5). *Biodigestores: Convirtiendo los residuos en energía limpia en África Oriental.* *Root Capital.* <https://rootcapital.org/es/biodigestores-convertir-los-residuos-en-energia-limpia-en-africa-oriental/>
3. *Biodigestores como opción ecológica para el reciclaje de desechos orgánicos | Genia Bioenergía.* (s/f). Recuperado el 3 de noviembre de 2024, de <https://geniabioenergy.com/biodigestores-para-desechos-organicos/>
4. Nancy. (2020, noviembre 24). *El impacto global de los biodigestores: Hagamos las cuentas.* *Sistema Bio.* <https://sistema.bio/blog/impacto-global/>
5. *Agricultura y Desarrollo Rural, S.* (s/f). *Biodigestores: Innovación sostenible para la agricultura y ganadería.* *gob.mx.* Recuperado el 3 de noviembre de 2024, de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/biodigestores-innovacion-sostenible-para-la-agricultura-y-ganaderia?idiom=es>
6. *Tipos de Biodigestores: Explorando sus Usos y Ventajas.* (2024, 15 de agosto). *Distribuidor Nacional.* <https://www.distribuidornacional.com/tipos-de-biodigestores-explorando-sus-usos-y-ventajas/>
7. *Desarrollos, ACD* (2023, 3 de febrero). *Tipos de biodigestores: ¿Cuál es la mejor opción?* *ACD Desarrollos.* <https://www.desarrollosacd.com/tipos-de-biodigestores-cual-es-la-mejor-opcion/>

8. Av, Y. (2021, 21 de abril). *Biodigestores. Alquiler Trono* .  
<https://tronorent.mx/biodigestores-que-son/>
9. *Biogás y biodigestores: Tipos, ventajas y beneficios | Genia Bioenergía* . (s/f).  
Recuperado el 3 de noviembre de 2024, de <https://geniabioenergy.com/biogas-y-biodigestores-tipos-ventajas-y-beneficios/>
10. *Tipos de biodigestores. (s/f). Autogeneración. Recuperado el 4 de noviembre de 2024,*  
de [https://autoconsumo.minenergia.cl/?page\\_id=524](https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524)
11. *Luis Antonio Vázquez Valencia. (2016). Sistema integral de generación de energía eléctrica por medio de biogás. Recuperado el 5 de noviembre del 2024. Tuxtla Gutiérrez Chiapas.*
12. *Laura Velez Landa, I. V. (2017). Evaluación de los parámetros de un biodigestor rígido modelo DMI. Recuperado el 5 de noviembre del 2024. Tuxtla Gutierrez Chiapas.*
13. *Fidel Eurípides Antúnez Collings. (2019). Desarrollo de una estufa ecológica multifuncional leña-biogás. Recuperado el 5 de noviembre del 2024. Tuxtla Gutiérrez Chiapas.*
14. *Marco Antonio Palafox Matus. (2019). Desarrollo y evaluación de un filtro para dióxido de carbono presente en el biogas, aplicable al sistema de biodigestores DMI. Recuperado el 5 de noviembre del 2024. Tuxtla Gutiérrez Chiapas.*
15. *Mata-Alvarez, J., Mace, S., & Llabrés, P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Bioresource*

- Technology*, 74(1), 3-16. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00023-7)
16. Kalia, A., & Singh, S. P. (1998). *Effect of mixing digested slurry on the rate of biogas production from dairy manure in batch fermenters*. *Energy Sources*, 20(4), 369-376. <https://doi.org/10.1080/00908319808970069>
17. Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). *History and future of domestic biogas plants in the developing world*. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>
18. Sharma, P. K., & Mishra, I. M. (1993). *Effect of temperature and substrate concentration on the gas production rate of solid waste in an anaerobic digester*. *Bioresource Technology*, 43(1), 61-65. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(93\)90012-G](https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90012-G)
19. Singh, K. J., & Sooch, S. S. (2004). *Comparative study of economics of different models of family size biogas plants for state of Punjab, India*. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1329-1341. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.027>
20. Itodo, I. N., Agyo, G. E., & Yusuf, P. (2007). *Performance evaluation of a biogas stove for cooking in Nigeria*. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 9(3), 147-155.
21. Verma, S. (2002). *Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes*. Thesis, Department of Earth and Environmental Engineering.
22. *Cuidemos el Planeta*. (s.f.). *Cómo calcular la cantidad de desechos generada*. Recuperado el 8 de noviembre de 2024. <https://cuidemoselplaneta.org/como-calcular-la-cantidad-de-desechos-generada/>



---

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES  
INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

---



## Anexos



Ilustración 68. Revisión del correcto funcionamiento de las llaves.



Ilustración 69. Ajuste del recubrimiento a la estructura.



Ilustración 70. Prueba con solución jabonosa para comprobación de fugas de aire.



Ilustración 71. Medición entre separación de soleras.



Ilustración 72. Perforación en el recubrimiento para darle paso al sistema de remoción.



Ilustración 73. Final de la prueba de agua.



Ilustración 74. Compra de arena para realizar el piso del biodigestor.



Ilustración 75. Recolección de grava.



Ilustración 76. Prueba hidráulica para comprobación del correcto funcionamiento del biodigestor.



Ilustración 77. Realización de piso del biodigestor.



Ilustración 78. Equipo de trabajo con el biodigestor.



Ilustración 79. Vista distinta del biodigestor terminado.