



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO  
EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA PRODUCIR  
BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN COSTA RICA.

NOMBRE DE ESTUDIANTE: ANDRÉS SOTO MUÑOZ

TUTOR: ING. GILBERT RICARDO MORA JIMÉNEZ

SEDE CENTRAL, SAN JOSÉ

2026

## Contenido General

Contenido General.....	2
Contenido de Tablas .....	5
Contenido de Ilustraciones.....	6
Contenido de Ecuaciones.....	7
Dedicatoria .....	8
Agradecimientos.....	9
Abreviaturas .....	10
Contenido de Anexos .....	12
Resumen Ejecutivo .....	13
I. INTRODUCCIÓN.....	14
Planteamiento del problema .....	14
Objetivos.....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
Justificación .....	16
Antecedentes .....	18
Internacionales.....	18
Nacionales .....	25
Proyecciones.....	33
Limitaciones.....	34
II. MARCO TEÓRICO .....	35
2.1 Gestión de residuos sólidos .....	35
2.1.1 ¿Qué es la basura? .....	35

2.1.2 ¿Qué son los residuos? .....	36
2.1.3 Realidad de los residuos en Costa Rica .....	37
2.1.4 Rellenos sanitarios y vertederos .....	38
2.2 Contexto Energético en Costa Rica .....	40
2.2.1 Uso de Gas LP en hogares costarricenses .....	40
2.2.2 Uso de leña y efectos en la salud .....	41
2.3 Biodigestores .....	43
2.3.1 ¿Qué es un biodigestor? .....	43
2.3.2 Beneficios del biodigestor .....	43
2.3.3 Clasificación según alimentación .....	44
2.3.4 Tipos de Biodigestores más usados según su diseño estructural .....	46
2.4 Digestión Anaerobia .....	49
2.4.1 Definición .....	49
2.4.1 Etapas de la biodigestión anaerobia.....	50
2.5 Biogás .....	51
2.5.1 ¿Qué es el biogás?.....	51
2.5.3 Aplicaciones del Biogas .....	53
2.5.4 Condiciones optimas para la generacion de biogas.....	54
2.6 Reglamentacion biogás en Costa Rica .....	56
2.6.1 Normativa aplicable.....	56
2.7 Indicadores Financieros.....	58
2.7.1 Periodo de recuperación de la inversión .....	58
2.7.2 Tasa de descuento.....	58
2.7.3 Valor Actual Neto (VAN) .....	59

2.7.4 Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	60
III. MARCO METODOLÓGICO.....	62
Enfoque de la investigación .....	62
Instrumentos.....	62
Matriz de operacionalización de objetivos de la investigación .....	62
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	68
Identificación de parámetros de Diseño .....	68
Selección del tipo de biodigestor y materiales de construcción.....	86
Justificación del uso de estos materiales.....	97
Parámetros de seguridad .....	103
Plan de mantenimiento para el biodigestor .....	105
Funcionamiento y procedimiento de operación del biodigestor.....	110
Memoria de Calculo .....	112
Análisis Económico.....	125
Análisis Datos obtenidos .....	133
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	135
Conclusiones .....	135
Recomendaciones.....	137
Bibliografía .....	139
Anexos .....	144

## Contenido de Tablas

<i>Tabla 1. Relación C/N de residuos de cocina .....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 2. Contenido de sólidos en residuos de cocina.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 3. Comparativa de rendimiento de biogás por tipo de residuo de cocina .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 4. Comparativa de rendimiento de biogás por tipo de residuo de cocina .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5. Generación de residuos según número de miembros del hogar.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 6. Comparación de regímenes de alimentación para biodigestor doméstico .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 7. Materiales para el diseño del biodigestor .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 8. Continuación Materiales para el diseño del biodigestor .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 9. Mantenimiento diaria biodigestor.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 10. Mantenimiento semanal biodigestor.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 11. Mantenimiento mensual biodigestor .....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 12. Mantenimiento semestral biodigestor .....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 13. Mantenimiento anual biodigestor.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 14. Generación de residuos según número de miembros del hogar.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 15. Cálculo volumen biodigestor según integrantes de familia y tiempo de retención.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 16. Cálculo de solidos totales generados.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 17. Cálculo de solidos totales promedios generados .....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 18. Cálculo de solidos volátiles generados .....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 19. Cálculo de solidos volátiles promedios generados .....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 20. Cálculo de SV degradados por día.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 21. Biogás generado .....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 22 Metano generado .....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 23. Duración de tiempo de cocina con biogas .....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 24. Cálculo VAN y TIR GLP 3 personas .....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 25. Calculo VAN y TIR GLP 4 personas .....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 26. Cálculo VAN y TIR GLP 5 personas .....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 27. Cálculo VAN y TIR Leña 3 personas.....</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 28. Cálculo VAN y TIR Leña 4 personas.....</i>	<i>131</i>

<i>Tabla 29. Cálculo VAN y TIR Leña 5 personas.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 30. Comparación VAN, TIR, PRI de GasLP y Leña.....</i>	<i>133</i>

## Contenido de Ilustraciones

<i>Ilustración 1. Pruebas de Biodigestor.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 2. Diagrama de flujo utilizado en plantas de digestión anaerobia con fines energéticos.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 3. Diferencias entre el biol y fertilizante químico.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 4. Diferencia entre residuo y basura.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 5. Economía circular: cómo separar los residuos en origen y por qué es tan importante.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 6. Residuos ordinarios del 2017 al 2021 en Costa Rica en toneladas y porcentajes con base en la generación de cada año respectivamente.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 7. Composición porcentual por peso de los residuos de Costa Rica.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 8. Consumo Sectorial Histórico y distribución aproximada de clientes 2020.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 9. Síntomas de 11 pacientes expuestas a la inhalación de humo de leña por más de 30 años.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 10. Biodigestor Discontinuo.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 11. Biodigestor semi-continuo.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 12. Biodigestor continuo.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 13. Biodigestor de domo fijo.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 14. Biodigestor de domo flotante.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 15. Biodigestor tubular.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 16. Digestión anaeróbica y sus productos.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 17. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaerobia.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 18. Composición del Biogás.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 19. Mapa de distribución de temperaturas en Costa Rica.....</i>	<i>69</i>
<i>Ilustración 20. Tiras reactivas de pH.....</i>	<i>71</i>
<i>Ilustración 21. Porcentaje de composición de residuos en Costa Rica.....</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 22. Producción per cápita por día de residuos en Costa Rica.....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 23. Diseño de Biodigestor.....</i>	<i>92</i>

<i>Ilustración 24. Señalización Tanque</i> .....	104
<i>Ilustración 25. Tarifas Vigentes Gas Licuado de Petróleo(GLP)</i> .....	123

## Contenido de Ecuaciones

<i>Ecuación 1. Formula VAN</i> .....	59
<i>Ecuación 2. Formula TIR</i> .....	60
<i>Ecuación 3. Cálculo de generación de residuos orgánicos por hogar</i> .....	82
<i>Ecuación 4. Calculo Fracción orgánica</i> .....	83
<i>Ecuación 5. Cálculo de presión abertura válvula de alivio</i> .....	100
<i>Ecuación 6. Cálculo de presión de fluencia y ruptura.</i> .....	101
<i>Ecuación 7. Cálculo de Factor de seguridad y Presión de trabajo</i> .....	102
<i>Ecuación 8. Cálculo de generación de residuos orgánicos por hogar</i> .....	112
<i>Ecuación 9. Calculo Fracción orgánica</i> .....	112
<i>Ecuación 10. Calculo volumen de biodigestor</i> .....	113
<i>Ecuación 11. Cálculo de tiempo promedio en hornilla con biogás</i> .....	121
<i>Ecuación 12. Cálculo Poder Calorífico Promedio</i> .....	122
<i>Ecuación 13. Cálculo de Energia Generado tomando de promedio 30 dias del mes</i> .....	122
<i>Ecuación 14. Cálculo Porcentaje ahorro del cilindro:</i> .....	122
<i>Ecuación 15. Cálculo costo unitario de energia (¢ por kWh)</i> .....	123
<i>Ecuación 16. Cálculo de Ahorro económico mensual por uso de biogás</i> .....	123
<i>Ecuación 17. Cálculo de Ahorro económico anual por uso de biogás</i> .....	123
<i>Ecuación 18. Cálculo Biogas en comparacion con Leña</i> .....	124
<i>Ecuación 19. Cálculo Porcentaje de ahorro en leña</i> .....	124
<i>Ecuación 20. Cálculo Periodo de recuperación de la Inversión (PRI)= Inversión inicial/ Ahorro anual con GLP y leña</i> .....	126

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a toda mi familia, especialmente a mi papá, Fabio; a mi mamá, Marjorie; y a mis hermanos, Luis y Fabián, quienes me apoyaron durante todos estos años para salir adelante.

A mis padres, por ser pilares esenciales en mi formación como persona, por inculcarme valores y enseñarme a convertirme en un mejor ser humano. Han sido un ejemplo por seguir y un apoyo fundamental, brindándome la oportunidad de estudiar desde pequeño para alcanzar el objetivo de convertirme en profesional; un privilegio que no todas las personas tienen y que supe valorar y aprovechar.

De verdad, les agradezco de todo corazón. Los amo.

## Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a todos los profesores y al personal de la Universidad que contribuyeron en mi formación académica. De manera especial, agradezco al Ing. Gilbert Mora Jiménez por su apoyo y orientación durante la elaboración del presente proyecto.

## Abreviaturas

Abreviatura	Significado
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
B/C	Relación beneficio/costo
C/N	Relación carbono/nitrógeno
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
EPA	Environmental Protection Agency
FS	Factor de seguridad
GLP	Gas licuado de petróleo
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de hidrógeno
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INTE	Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
ISO	International Organization for Standardization
kPa	Kilopascal
kWh	Kilovatio-hora
L	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MJ	Mega julio
NFPA	National Fire Protection Association
O <sub>2</sub>	Oxígeno

PAHs	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
pH	Potencial de hidrógeno
<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
PRI	Período de recuperación de la inversión
PVC	Policloruro de vinilo
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
ST	Sólidos totales
SV	Sólidos volátiles
TIR	Tasa interna de retorno
TRH	Tiempo de retención hidráulica
TRS	Tiempo de retención de sólidos
VAN	Valor actual neto
VCO	Velocidad de carga orgánica

## Contenido de Anexos

<i>Anexo 1. Espaciamento maximo entre soportes para tuberia.....</i>	<i>144</i>
<i>Anexo 2. Valvula reguladora segunda etapa .....</i>	<i>145</i>
<i>Anexo 3. Alarma de gas.....</i>	<i>146</i>
<i>Anexo 4.Codigo de instalaciones hidraulicas y sanitarias en edificaciones edicion 2017 .....</i>	<i>147</i>
<i>Anexo 5. ISO 23290.....</i>	<i>147</i>
<i>Anexo 6. Propiedades polietileno lineal de media densidad grado hexeno .....</i>	<i>148</i>
<i>Anexo 7. Ficha tecnica tanque de agua Durman 750 L .....</i>	<i>149</i>
<i>Anexo 8. Filtro H2S.....</i>	<i>150</i>
<i>Anexo 9. Filtro H2S Caracteristicas.....</i>	<i>151</i>
<i>Anexo 10. Datos técnicos que relaciona la temperatura de servicio con la tensión de aro de diseño permitida para material .....</i>	<i>151</i>
<i>Anexo 11. Configuracion biodigestor casero .....</i>	<i>152</i>
<i>Anexo 12. Ficha tecnica cinta de teflon Argos .....</i>	<i>152</i>
<i>Anexo 13. Ficha tecnica manómetro.....</i>	<i>153</i>
<i>Anexo 14. Ficha tecnica Duretan sellador de poliuretano.....</i>	<i>155</i>
<i>Anexo 15. Ficha tecnica Duretan sellador de poliuretano.....</i>	<i>156</i>
<i>Anexo 16. NFPA 54.....</i>	<i>157</i>
<i>Anexo 17. NFPA 58.....</i>	<i>158</i>

## Resumen Ejecutivo

La presente investigación propone el diseño de un prototipo de biodigestor doméstico para producir biogás a partir de residuos orgánicos en Costa Rica. El proyecto surge de la necesidad de ofrecer una alternativa sostenible y accesible para la gestión de desechos orgánicos, que representan más del 50% de los residuos domiciliarios en el país, y que actualmente terminan en rellenos sanitarios generando emisiones de metano y contribuyendo a la saturación de estos sitios.

El objetivo principal es diseñar un biodigestor que utilice materiales accesibles y de bajo costo, adaptado al contexto costarricense, de manera que las familias puedan transformar sus residuos en energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y leña para la cocción de alimentos.

La investigación incluye la identificación de principios técnicos de la digestión anaerobia, la revisión de diferentes tipos de biodigestores, y la construcción de un prototipo experimental con materiales locales. Adicionalmente, se analizará la seguridad del sistema y su viabilidad económica a nivel doméstico.

El proyecto no solo busca demostrar la factibilidad técnica del biodigestor, sino también cuantificar los beneficios ambientales y sociales: reducción de residuos sólidos enviados a rellenos, mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, ahorro económico para las familias y producción de biofertilizante aprovechable en huertos o jardines.

En síntesis, este trabajo contribuye al desarrollo de soluciones energéticas renovables y accesibles en Costa Rica, fortaleciendo la gestión circular de residuos, promoviendo la conciencia ambiental y alineándose con los objetivos nacionales de descarbonización y sostenibilidad.

## I. INTRODUCCIÓN

### Planteamiento del problema

La gestión de residuos sólidos orgánicos representa un desafío ambiental y sanitario significativo en Costa Rica, donde una gran parte de estos desechos terminan en rellenos sanitarios, generando emisiones de metano y contribuyendo a la saturación de estos espacios. Asimismo, la dependencia de combustibles fósiles y leña para cocción en hogares persiste, especialmente en zonas rurales y áreas semiurbanas, con impactos negativos en la salud, la economía familiar y el ambiente.

Aunque existen tecnologías como los biodigestores para tratar residuos orgánicos y producir biogás, su implementación a escala doméstica en Costa Rica es limitada. Los sistemas disponibles suelen ser costosos, de diseño complejo o requieren materiales no accesibles para la mayoría de las familias, lo que dificulta su adopción masiva. Además, existe un vacío en cuanto a prototipos adaptados al contexto costarricense que consideren factores como clima, tipos de residuos locales, facilidad de construcción y mantenimiento, así como el retorno de la inversión para el usuario común.

Esta situación evidencia la necesidad de desarrollar un biodigestor doméstico de bajo costo, construido con materiales de fácil acceso, que permita a las familias costarricenses gestionar sus residuos orgánicos de manera sostenible y producir su propia energía renovable en forma de biogás.

¿Cómo diseñar un prototipo de biodigestor doméstico, utilizando materiales accesibles en Costa Rica, para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, que sea eficiente, seguro y económicamente viable?

## Objetivos

### Objetivo general

Diseñar un prototipo de biodigestor doméstico, utilizando materiales accesibles en Costa Rica, para la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, que sea eficiente, seguro y económicamente viable.

### Objetivos específicos

- Identificar los principios de la digestión anaerobia, los tipos de biodigestores, la producción de biogás y sus aplicaciones, mediante una investigación bibliográfica, con el fin de establecer los parámetros de diseño.
- Seleccionar el tipo de biodigestor y materiales de construcción más adecuados, mediante el análisis comparativo de distintas configuraciones existentes, considerando criterios técnicos, de seguridad, espacio disponible y tipo de residuo, con el fin de definir la alternativa más viable.
- Definir los parámetros de operación, seguridad y mantenimiento del sistema, a partir del análisis de buenas prácticas y criterios técnicos, con el fin de evaluar la viabilidad técnica y garantizar un diseño seguro y funcional.
- Estimar la producción teórica de biogás, mediante el uso de ecuaciones de digestión anaerobia para estimación de ahorros económico.
- Realizar una evaluación financiera de implementar el biodigestor doméstico diseñado, mediante un análisis técnico-económico basado en el porcentaje de ahorro generado por el biogás sobre el consumo de combustibles convencionales, con el fin de determinar la viabilidad económica del sistema.

## Justificación

La presente investigación sobre el diseño de un prototipo de biodigestor doméstico para producir biogás a partir de residuos orgánicos en Costa Rica se justifica por su alta conveniencia y relevancia social y ambiental. En un contexto nacional donde la gestión de residuos sólidos orgánicos representa un desafío crítico según el Ministerio de Salud, más del 50% de los residuos domiciliarios en Costa Rica son orgánicos y su manejo inadecuado contribuye a la saturación de rellenos sanitarios y a la emisión de gases de efecto invernadero, este proyecto ofrece una solución práctica y sostenible que permite a las familias transformar sus desechos en energía útil, reduciendo su huella ambiental y mejorando su autonomía energética.

Su relevancia social se manifiesta en el beneficio directo para comunidades urbanas y rurales, especialmente aquellas con limitado acceso a energía limpia o con alta dependencia de leña o gas licuado, recursos asociados a problemas de salud respiratoria y gastos económicos significativos. El biodigestor propuesto no solo brindará una alternativa energética accesible, sino que también promoverá la conciencia ambiental y la participación ciudadana en la gestión circular de residuos.

En cuanto a sus implicaciones prácticas, el proyecto contribuye a resolver problemas concretos como la disposición final de residuos, la reducción de emisiones de metano y la Incorporación de alternativas energéticas sostenibles en entornos domésticos. Además, el digestato resultante del proceso puede ser utilizado como fertilizante natural, agregando valor al sistema y fomentando prácticas agrícolas sostenibles en entornos domésticos o comunitarios.

El valor teórico de esta investigación radica en su potencial para llenar un vacío de conocimiento respecto al diseño y adaptación de tecnologías de biodigestión a escala doméstica en contextos tropicales como el costarricense. Aunque existen estudios sobre biodigestores a nivel industrial o agropecuario, son escasos los prototipos diseñados específicamente para hogares, con materiales locales y bajo criterios de eficiencia, seguridad y facilidad de uso. Los resultados

obtenidos podrían servir como referencia para futuras investigaciones en el campo de las energías renovables aplicadas y la ingeniería sostenible.

Desde una perspectiva metodológica, este estudio propone un enfoque que combina el diseño técnico con el análisis teórico, basado en información bibliográfica y criterios de ingeniería, lo que permitirá establecer parámetros de diseño, operación y seguridad para biodigestores domésticos. Asimismo, la metodología empleada podrá ser replicada en otros contextos con características similares, ampliando su impacto y utilidad como referencia para futuros estudios o desarrollos tecnológicos.

## Antecedentes

### Internacionales

Antecedente No. 1.

Título: Biodigestor. Manual de Uso

Autor: Ing. Agr. Elisa Indiveri

Año: s.f.

Institución: Universidad Nacional de Cuyo

Este manual técnico-operativo constituye un antecedente internacional de gran relevancia para la presente investigación, ya que proporciona un marco metodológico sólido y ya validado para la implementación de biodigestores a pequeña escala. El documento, respaldado por una institución académica, detalla principios de la digestión anaeróbica y establece lineamientos operativos críticos que serán directamente considerados en este proyecto.

Especifica de manera clara la clasificación de residuos, identificando tanto los materiales aptos como una lista detallada de aquellos que no se pueden utilizar lo cual es fundamental para definir la materia prima del prototipo. En segundo lugar, proporciona las relaciones específicas de dilución agua-sólidos para diferentes tipos de sustratos, un parámetro operativo esencial para la eficiencia del proceso.

Da recomendaciones importantes entre ellas que cuando se pone en marcha el biodigestor comienza la producción de biogás esa primera generación debe de ser ventilada a la atmosfera ya que tiene grandes cantidades de O<sub>2</sub> lo cual combinado con metano puede ser inflamable incluso explosivo. También realiza recomendaciones para el acumulador de gas que el agua debe de tener un buen nivel ya que sirve como una válvula de seguridad ante altas presiones.

Asimismo, el manual ofrece protocolos valiosos para este trabajo, incluyendo recomendaciones de operación continua, el procedimiento para la revisión de pérdidas o fugas de gas y la identificación de los factores clave que afectan el funcionamiento, como los cambios bruscos en la alimentación, el nivel de pH y las bajas temperaturas. Finalmente, documenta el

rendimiento esperado de biogás en función de los distintos tipos de sustratos, lo que servirá como un parámetro de referencia crucial para validar el desempeño del biodigestor que se diseñará.

Al ofrecer un modelo probado para un contexto de escala similar al doméstico, este antecedente no solo sirve como una guía práctica integral para el diseño y la experimentación, sino que también ayuda a identificar el vacío de conocimiento que esta investigación busca llenar la adaptación de estos principios técnicos a las condiciones específicas, los residuos locales y los materiales accesibles en el contexto costarricense.

Antecedente No. 2

Título: Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante

Autor: Merling Areli Cortez Hernández y Carlos Wilver Serrano López.

Año: 2023

Institución: Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria de Occidente

Este proyecto desarrollado en El Salvador es de gran valor para mi investigación, ya que se enfoca directamente en el diseño y validación de un biodigestor a escala doméstica, compartiendo el mismo objetivo central de mi trabajo. El estudio aporta hallazgos prácticos cruciales que enriquecen mi marco de diseño, entre ellos: la identificación de limitaciones operativas clave en el sistema de almacenamiento y distribución de gas, como la necesidad de ejercer presión manual sobre el neumático para mantener la llama encendida, lo que evidencia la importancia de incorporar un mecanismo de presión automatizada en el diseño del prototipo costarricense. Además, se documenta una solución práctica para mejorar la producción y calidad del biogás: la adición de sustratos ricos en nutrientes como leche vencida y suero de queso. En las pruebas realizadas, se observó que una mezcla compuesta por 75% de excreta, 25% de agua, ½ galón de leche vencida y 3 litros de suero de queso permitió obtener una llama apta para uso en cocina, con mejor color,

fuerza y duración, Este dato es especialmente útil para mi proyecto, ya que me permite replicar y ajustar la proporción de carga en función de los residuos disponibles en hogares costarricenses, optimizando la mezcla de alimentación para mejorar la eficiencia energética del biodigestor. Incorporar estos aditivos en la formulación del sustrato puede ser una estrategia viable para acelerar la producción de metano y estabilizar la calidad de la llama, lo cual será evaluado experimentalmente en la fase de validación de mi biodigestor.

N° de carga	Fecha	Porcentajes de excreta	Resultado	Cambios realizados
1	25/abril/2022	50 % excreta, 50 % agua	-	-
-	6/mayo/2022	-	-	Reparación de fuga en el área de las válvulas
2	9/mayo/2022	50 % excreta, 50 % agua	Se comprobó que estaba generando presión	Corte de tubo de desagüe
3	16/mayo/2022	50 % excreta, 50 % agua	Llama anaranjada	-
-	28/mayo/2022	-	-	Reparación de fuga en el área de desagüe
4	30/mayo/2022	75 % excreta, 25 % agua, 1/2 gln de leche, 3 l de suero de leche	Llama apta para uso en cocina	Cambio de porcentajes de excreta y componentes

*Ilustración 1. Pruebas de Biodigestor*

*Fuente: Diseño de biodigestor casero para producción de biogás y fertilizante*

### Antecedente No. 3

Título: Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos para generar Biogás y Biol por medio de un Biodigestor para una Vivienda Típica Rural del Municipio de Cubará, Boyacá

Autor: Paula Valentina Chaves Chacón y Erika Yisney Gelves Vera

Año: 2022

Institución: Universidad De La Salle

La tesis desarrollada en Cubará, Boyacá, representa un antecedente de gran utilidad para mi investigación, ya que aborda un contexto rural con características socioeconómicas y ambientales similares a las que enfrentan muchas comunidades costarricenses. En primer lugar, el documento me permite comprender de manera práctica los retos técnicos que surgen en la construcción y operación de biodigestores domésticos. Por ejemplo, los autores reportan que su primer prototipo no logró producir biogás debido a un exceso de orificios en el recipiente y a la

dificultad de mantener un ambiente anaerobio estable. Este hallazgo es crucial para mi proyecto, porque me advierte sobre la importancia del sellado hermético y del control de oxígeno en el diseño, evitando repetir errores que comprometan la eficiencia del sistema.

Aunque en su caso no se logró generar gas utilizable, sí se obtuvieron fertilizantes líquidos con características comparables a productos comerciales. Este resultado me ayuda a reforzar la justificación de mi tesis, pues demuestra que incluso cuando la producción de biogás enfrenta limitaciones, el biodigestor sigue siendo valioso al generar un subproducto aprovechable en la agricultura doméstica. En el contexto costarricense, donde la agricultura familiar y los huertos caseros son comunes, este beneficio adicional fortalece la viabilidad social y económica de la propuesta.

En conclusión, la tesis De La Salle me ayuda en tres niveles fundamentales: en lo técnico, al señalar errores y parámetros críticos de diseño. en lo experimental al ofrecer datos sobre residuos, frecuencia de alimentación y calidad del biol, y en lo contextual al mostrar que los problemas energéticos y ambientales que motivan mi investigación en Costa Rica también se presentan en otros países latinoamericanos

#### Antecedente No. 4

Título: Elaboración de un biodigestor a escala de laboratorio.

Autor: Sahylin Galarza Sainz.

Año: 2020

Institución: Universidad de Ciencias Pedagógicas "Enrique José Varona", La Habana, Cuba.

Esta tesis constituye un antecedente académico fundamental para mi investigación, ya que aborda el diseño y construcción de un biodigestor a una escala manejable y con fines demostrativos, lo cual se alinea directamente con el carácter prototipo y didáctico de mi propio proyecto.

Detalla las fases de la digestión anaerobia (hidrólisis, acidogénesis, a-cetogénesis y metanogénesis) y los parámetros críticos de control, como:

pH mantenerlo por encima de 6.6 ya que si no se logra puede provocar un paro en la producción de metano La alcalinidad y el pH en la digestión anaerobia pueden ajustarse añadiendo a la mezcla diferentes productos químicos entre ellos bicarbonato de sodio y potasio, carbonato de calcio y también mezclando diferentes residuos a tratar en el reactor

La temperatura indica que es de los parámetros más importantes para el proceso de la digestión anaerobia determina la velocidad de degradación del proceso anaeróbico, durante las etapas de hidrolisis y metanogénesis, indica que hay 3 tipos de rangos de temperatura Psicrófilo: por debajo de 25°C, Mesófilo: entre 30 y 40°C, Termófilo: entre 50 y 60°C.

Con el aumento en el rango de temperaturas se aumenta la tasa de hidrólisis, la velocidad de crecimiento y con ello la velocidad en la producción de biogás.

Tiempo de retención hidráulica (TRH) indica cuánto tiempo permanece una sustancia dentro del reactor; al incrementarse, mejora la degradación de la materia orgánica y la producción de metano. La velocidad de carga orgánica (VCO) representa la cantidad de materia orgánica añadida al biodigestor por unidad de volumen y tiempo. Aunque mayores cargas orgánicas aumentan la producción de metano, también elevan el riesgo de acidificación del reactor y fallos del sistema.

Muy valioso porque documenta un proceso constructivo claro y replicable a escala de laboratorio, desde la perforación de los tanques hasta la instalación de tuberías y el sellado hermético. Este procedimiento me sirve como una guía de referencia para la fase de construcción de mi investigación. Además, la tesis refuerza la viabilidad de utilizar residuos vegetales como materia prima, un aspecto central de mi objetivo, y enfatiza la doble función del biodigestor: la producción de energía y la generación de fertilizante, lo cual fortalece la justificación de mi proyecto al destacar su beneficio integral.

Antecedente No. 5

Título: Estudio de la generación de biogás a partir de basura orgánica usando un biodigestor domestico

Autor: Quechulpa Pérez P, Herrera Meza R, Guarneros Nolasco L.R, Terron Mejía K.A, Itehua Feria J.A

Año: 2020

Institución: Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

Constituye un antecedente de gran valor para esta investigación, ya que proporciona datos cuantitativos específicos y metodologías validadas experimentalmente para el dimensionamiento y operación de biodigestores domésticos. La investigación mexicana, desarrollada en el Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, presenta hallazgos particularmente relevantes para el contexto costarricense al ofrecer parámetros técnicos concretos obtenidos en condiciones reales de operación.

Un aporte significativo de este estudio es la caracterización detallada de los residuos orgánicos domésticos, donde se determinó que una familia de 5 personas genera en promedio 3,384.497 g de desperdicios alimenticios diarios, con un total de 2,797.29 g de basura orgánica susceptible de ser utilizada en el biodigestor. Estos datos proporcionan una base sólida para dimensionar adecuadamente el prototipo costarricense, estableciendo una relación directa entre el tamaño familiar y la cantidad de residuos disponibles para la digestión anaerobia.

Proporciona parámetros operativos como la concentración óptima de materia orgánica para la carga del biodigestor es del 10% Este hallazgo es fundamental para optimizar la eficiencia del prototipo costarricense. Adicionalmente, el protocolo de ajuste del pH utilizando hidróxido de calcio para elevar el valor de 4.2 (ácido) a un rango entre 7.0-7.5 (neutro), máxima generación entre los días 13-14 del proceso y una composición de metano entre 59.2-62.1%, establece expectativas realistas de desempeño para el prototipo en desarrollo.

Antecedente No. 6

Título: Biogás : importancia y beneficios de energías alternativas en el mundo

Autor: Andrea Carolina Barón Moreno, Illiana Isabel Contreras García

Año: 2020

Institución: Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Representa un aporte clave para mi investigación, ya que me permite ubicar el desarrollo de mi prototipo dentro de una problemática energética global. A diferencia de los antecedentes técnicos que he revisado, este documento me ofrece una perspectiva contextual, política y socioeconómica que refuerza la justificación de mi propuesta. En él se analiza comparativamente el uso de combustibles fósiles frente al biogás, evidenciando los impactos negativos de los primeros como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación ambiental y los conflictos sociales derivados de su extracción y destacando la viabilidad del biogás como una solución energética limpia, renovable y adaptable.

Este enfoque me resulta especialmente útil para fortalecer el capítulo de justificación, ya que vincula mi prototipo doméstico con los objetivos internacionales de descarbonización, demuestra que la transición energética no solo es necesaria, sino también posible desde iniciativas locales. Además, el artículo resalta que el biogás puede implementarse tanto en zonas rurales como urbanas, lo cual valida la versatilidad de mi propuesta y su potencial para mejorar la calidad de vida en diversos contextos.

Da ejemplos como en Alemania se incentiva la producción de electricidad por medio de biodigestores es así como agricultores por kW/h productores reciben un pago por ello, otro ejemplo es Suecia que cerca del 99% de sus residuos es reciclado en sus plantas de incineradores productoras de energía, un dato muy importante en donde Costa Rica podría valorar tomar iniciativas ya que el manejo de la basura es uno de los principales desafíos que enfrenta hoy en día podrían generar electricidad tanto por el biogás como la quema del mismo.

## Nacionales

Antecedente No. 1.

Título: Diagnostico del rendimiento de operatividad de plantas de digestión anaerobia en Costa Rica

Autor: Daniela Alejandra Mora Corrales

Año:2024

Institución: Universidad de Costa Rica

Documento clave que proporciona la base técnica y de mercado necesaria para justificar y guiar el diseño de un biodigestor de uso doméstico en el país. Su valor principal reside en que me ofrece datos reales de Costa Rica, lo cual es mucho más relevante que cualquier estudio internacional.

Este estudio me permite comprender el estado actual de la tecnología, confirmando que la biodigestión es una realidad establecida y no un simple experimento, con una estimación de aproximadamente 500 biodigestores ya instalados en el país. Esta cifra demuestra una aceptación y un potencial de mercado que validan mi proyecto. Además, esta tesis me da una idea clara del impacto energético el potencial de producción de metano en Costa Rica se registró en 377,000,000 m<sup>3</sup> anuales, lo que podría suplir hasta el 5% de la demanda eléctrica nacional dato me permite proyectar el impacto acumulado que podría tener la implementación masiva de biodigestores domésticos como el que propongo, reforzando el capítulo de proyecciones y sostenibilidad energética.

La autora analiza la normativa nacional aplicable, incluyendo disposiciones del Ministerio de Salud, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), y el Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos (Decreto Ejecutivo No. 38914-S-MINAE), entre otros instrumentos. Esta revisión me permite identificar los requisitos mínimos que debe cumplir mi prototipo en cuanto a seguridad, manejo de residuos, control de emisiones y disposición del digestato, Incorporar este análisis normativo en mi tesis me permite alinear el diseño del prototipo con los marcos legales existentes, lo cual es indispensable para garantizar su aplicabilidad real en el contexto costarricense.

Pero la mayor utilidad de este antecedente está en su análisis de los errores operativos, el diagnóstico realizado en plantas medianas e industriales revela que las fallas no son de concepto, sino de ejecución, identificando problemas como condiciones inadecuadas de diseño, falta de mantenimiento y una operación incorrecta por parte de los usuarios. Esta información es fundamental porque justifica mi enfoque en el diseño doméstico mi proyecto debe ser simple, robusto y muy fácil de usar para evitar que el usuario promedio cometa estos mismos errores, sino que tengo una guía clara para garantizar que mi diseño cumpla con los estándares de seguridad.

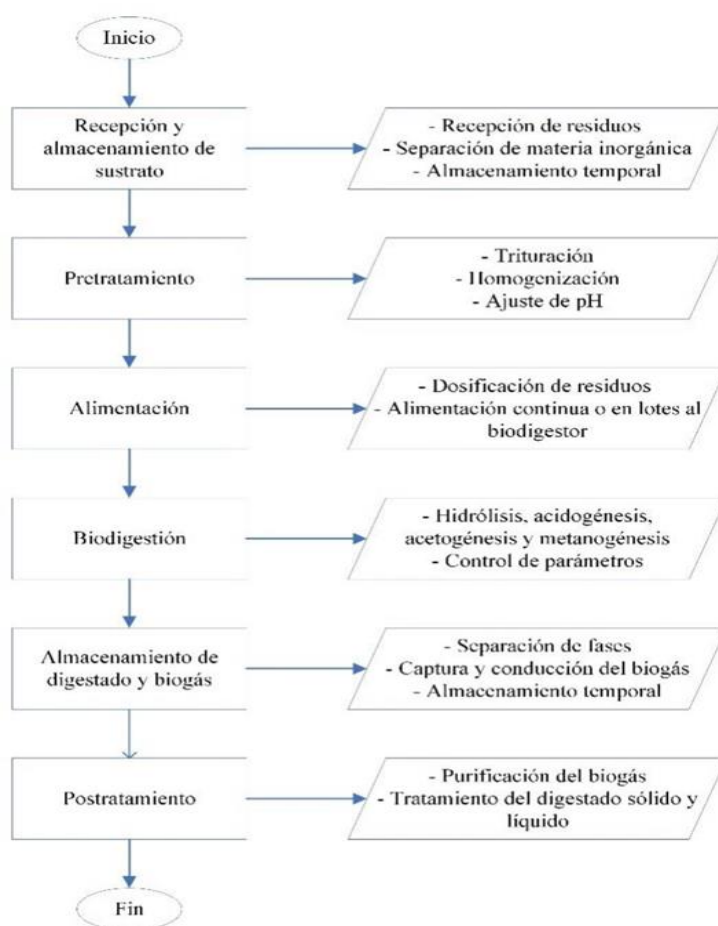


Ilustración 2. Diagrama de flujo utilizado en plantas de digestión anaerobia con fines energéticos.

Fuente: (Corrales, 2024)

Antecedente No. 2.

Título: TEC continúa instalando cocinas de biogás en Limón

Autor: Irina Grajales Navarrete

Año: 2021

Institución: Instituto Tecnológico de Costa Rica

Este antecedente resulta altamente relevante para mi investigación, ya que documenta la implementación exitosa de cocinas de biogás en comunidades costarricenses, específicamente en la provincia de Limón, como parte del proyecto “Biogás para todos” impulsado por el Tecnológico de Costa Rica. La iniciativa demuestra que es posible transformar residuos orgánicos, principalmente excretas animales, en energía limpia y utilizable para la cocción de alimentos, mediante biodigestores adaptados a las condiciones locales.

El proyecto ha generado beneficios concretos en términos de salud, economía familiar y sostenibilidad ambiental. Las familias beneficiadas han logrado reducir el uso de leña y gas licuado, mejorando la calidad del aire en sus hogares y disminuyendo los gastos asociados a la compra de combustibles. Además, se ha eliminado el problema de malos olores derivados de las excretas, lo que evidencia una mejora en las condiciones sanitarias.

Por su parte, el vídeo y el reportaje complementario me ofrecen la evidencia visual y operativa de la solución. Al tratarse de implementaciones en el campo, estos materiales son cruciales para entender el perfil del usuario final y las condiciones reales de operación que debo manejar en mi diseño. Me permiten observar detalles sobre la facilidad de construcción, el tipo de materiales que son comunes en estos proyectos a menudo de bajo costo o accesibles, y la manera en que la comunidad interactúa con el sistema. Esto es fundamental para cumplir con los objetivos de mi tesis de diseñar un prototipo que sea fácil de usar y mantener por personas sin conocimiento técnico avanzado, evitando así los errores de operación y falta de mantenimiento que identifica como problemas recurrentes en más del 70% de las instalaciones.

Antecedente No. 3.

Título: Estudio de mercado para la comercialización del biodigestor de pequeña y mediana escala en fincas pecuarias de la Region Central Sur, San José, Costa Rica

Autor: Michael Andrés Piedra Orozco

Año: 2023

Institución: Universidad de Costa Rica

Uno de los antecedentes más relevantes para contextualizar la viabilidad de biodigestores en Costa Rica es el estudio de mercado realizado en la Región Central Sur de San José, orientado a la comercialización de sistemas de biodigestión anaerobia en fincas pecuarias de pequeña y mediana escala. Aunque el enfoque de dicho estudio se centra en el ámbito agropecuario, sus hallazgos resultan altamente pertinentes para mi investigación, ya que permiten comprender las dinámicas reales de adopción tecnológica en contextos rurales costarricenses, así como las barreras y oportunidades que enfrentan los usuarios potenciales.

Este antecedente aporta una visión integral sobre el nivel de conocimiento, interés y disposición a pagar por parte de los productores, lo cual refuerza la necesidad de diseñar sistemas accesibles, eficientes y adaptados al entorno local. Asimismo, evidencia que muchos de los biodigestores instalados en el país han fallado por falta de asesoría técnica, desconocimiento del funcionamiento del sistema y errores en la instalación, lo que subraya la importancia de incorporar criterios de simplicidad constructiva, seguridad operativa y acompañamiento educativo en el diseño del prototipo propuesto.

Además, el estudio destaca el papel de los biotecnólogos en la mejora de la productividad y la integración tecnológica en las fincas, pero también señala que su contratación representa una inversión elevada que no todos los productores pueden asumir. Este dato refuerza la pertinencia de desarrollar soluciones que no dependan de asistencia especializada constante, sino que puedan ser operadas por usuarios comunes con conocimientos básicos, lo cual es precisamente uno de los objetivos centrales de esta investigación.

El estudio presenta comparaciones entre el biol y los fertilizantes químicos, destacando que el primero no solo es más económico, sino también más sostenible, al reducir la dependencia de insumos sintéticos que afectan la salud del suelo y generan costos recurrentes para los productores. Esta información me permite fortalecer la justificación ambiental y económica de mi prototipo, al demostrar que el sistema propuesto puede generar un insumo útil para huertos caseros, jardines o pequeñas parcelas, promoviendo prácticas agroecológicas en el entorno doméstico.

Refuerza la idea de que el biodigestor doméstico no solo debe ser visto como una fuente de energía renovable, sino también como una herramienta para la producción de fertilizante orgánico de alto valor agronómico

<b>Biol</b>	<b>Fertilizante químico</b>
Ayuda a conservar plantas, cultivos y frutos en mayor cantidad y de mejor calidad	Ayuda a tener mayor cantidad de plantas, cultivos y frutos, pero de menor contenido nutricional
Mejora la fertilidad del suelo	Disminuye la fertilidad del suelo
No contamina ni el suelo ni el agua	Contaminan las fuentes de agua y el medioambiente
Permiten reducir la presión sobre la tierra para la producción de forraje	Causa enfermedades al productor que lo utiliza

*Ilustración 3. Diferencias entre el biol y fertilizante químico*

*Fuente: (Barquero, 2023)*

Antecedente No. 4.

Título: Evaluación de la viabilidad técnica y financiera de la implementación de un biodigestor anaerobio para la generación de biogás y biol a partir de aguas mieles en el micro beneficio Herbazú

Autor: Jennifer Corrales Alvarado

Año: 2024

Institución: Universidad de Costa Rica

Esta tesis sobre la evaluación técnica y financiera de un biodigestor anaerobio en el micro beneficio Herbazú representa un aporte valioso para mi investigación, ya que aborda con profundidad dos dimensiones clave que también forman parte de mi proyecto: la eficiencia técnica del sistema y su viabilidad económica en un contexto costarricense. Aunque el tipo de residuo utilizado (aguas mieles del café) difiere del enfoque doméstico de mi prototipo, los principios de digestión anaerobia, los parámetros operativos y las condiciones de diseño son perfectamente comparables y me permiten establecer similitud y referencias concretas.

Desde el punto de vista técnico, esta tesis proporciona datos reales sobre temperatura óptima de operación (35 °C), relación de dilución, relación C/N del sustrato y del efluente, así como estimaciones de producción de biogás y contenido de metano. Estos valores me sirven como guía para definir los rangos esperados en mi prototipo, ajustar el diseño experimental y validar los resultados obtenidos.

En el plano económico, el análisis financiero presentado en esta tesis me permite incorporar una perspectiva más robusta en el capítulo de proyecciones. El uso de indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el índice beneficio/costo (B/C) me ofrece una metodología replicable para evaluar el impacto económico del prototipo doméstico

Antecedente No. 5.

Título: Estrategia propiciadora de integración y adopción familiar de la digestión anaerobia domestica

Autor: Pamela Zúñiga Fallas

Año: 2024

Institución: Universidad de Costa Rica

Esta tesis sobre la adopción familiar de la digestión anaerobia doméstica en Costa Rica representa un aporte fundamental para mi investigación, ya que introduce una dimensión sociocultural que complementa el enfoque técnico de mi proyecto. Mientras mi tesis se centra en el diseño y validación de un prototipo de biodigestor doméstico, este antecedente profundiza en los

factores que influyen en la aceptación, uso y mantenimiento de esta tecnología por parte de familias, lo cual resulta clave para garantizar su implementación efectiva.

Uno de los principales aportes de esta investigación es la elaboración de la iniciativa para el empoderamiento de familias basada en procesos participativos y en el reconocimiento de motivaciones reales. Este enfoque me permite entender que la adopción tecnológica no depende únicamente de la eficiencia del sistema, sino también de la percepción de utilidad, la apropiación comunitaria, el acompañamiento técnico y la integración con prácticas cotidianas como el compostaje y la agricultura familiar. Incorporar estos elementos en el diseño y propuesta de mi prototipo puede aumentar significativamente su impacto y sostenibilidad.

Además, la tesis destaca la importancia de considerar factores internos como, el acceso a recursos, el nivel de conocimiento técnico y las dinámicas familiares, lo cual me permite ajustar mi propuesta a las condiciones reales de los hogares costarricenses. También señala que más del 80% de las familias rurales consultadas utilizan leña como fuente energética, lo que refuerza la urgencia de ofrecer alternativas limpias y accesibles como el biogás.

Antecedente No. 6.

Título: Factibilidad de implementación del uso de biodigestores en centros educativos típicos en zonas rurales

Autor: Brandon Viquez Zamora

Año: 2023

Institución: Universidad de Costa Rica

Este estudio se enfoca en el diseño, dimensionamiento y evaluación de biodigestores tubulares en centros educativos rurales costarricenses, considerando un escenario típico de 200 estudiantes. A través de la caracterización de residuos sólidos orgánicos y aguas residuales, se propone un tren de tratamiento que incluye trituración, biodigestión y aprovechamiento del biol como subproducto.

El valor de este antecedente para mi investigación radica en varios aspectos clave. Primero, aporta criterios técnicos para el diseño de biodigestores adaptados a contextos rurales costarricenses, incluyendo parámetros como volumen de carga, frecuencia de alimentación, y

composición del sustrato. Segundo, ofrece una evaluación económica preliminar que permite visualizar los costos de implementación y mantenimiento, lo cual es útil para validar la viabilidad financiera de mi prototipo doméstico.

Desde el punto de vista normativo, la tesis aborda con claridad el marco legal costarricense aplicable a sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluyendo el Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento, la Ley No. 8839 para la Gestión Integral de Residuos, y disposiciones específicas sobre ubicación, permisos y obligaciones del ente generador. Esta revisión me permite asegurar que mi prototipo doméstico se diseñe en cumplimiento con la normativa vigente, facilitando su implementación legal y su aceptación institucional.

Además, el estudio concluye que los biodigestores son especialmente efectivos en instituciones agroecológicas o técnicas, donde se genera suficiente residuo orgánico para justificar su uso. Esta observación refuerza la importancia de adaptar el diseño a la disponibilidad de sustrato y al entorno físico y social, lo cual coincide con el enfoque de mi tesis.

Finalmente, se documenta que el biodigestor de alimentación continua produce fertilizantes con niveles de nutrientes comparables a los abonos comerciales, lo que valida el uso del digestato como biofertilizante doméstico.

## Proyecciones

Se espera que el desarrollo del presente proyecto permita demostrar que es técnicamente viable diseñar un biodigestor doméstico utilizando materiales accesibles en Costa Rica, capaz de producir biogás a partir de residuos orgánicos generados en el hogar.

Asimismo, se proyecta que el sistema diseñado logre una producción constante de biogás bajo condiciones controladas, siempre que se mantengan parámetros adecuados de operación como temperatura, pH, humedad y carga orgánica. Se estima que el biogás generado podrá ser utilizado como una fuente complementaria de energía para la cocción de alimentos, contribuyendo a la reducción parcial del consumo de gas licuado de petróleo (GLP).

Desde el punto de vista ambiental, se espera que la implementación del biodigestor contribuya a la disminución de residuos orgánicos enviados a rellenos sanitarios, así como a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, particularmente metano liberado de manera no controlada en vertederos.

En el ámbito económico, se proyecta que el sistema permita generar un porcentaje de ahorro en el gasto energético del hogar, dependiendo de la cantidad de residuos disponibles y la eficiencia del biodigestor. Aunque no se espera una sustitución total del consumo de combustibles convencionales, sí se anticipa una reducción significativa que contribuya a mejorar la economía familiar.

Finalmente, se proyecta que el diseño propuesto sea replicable y adaptable a diferentes condiciones de vivienda en Costa Rica, lo que permitiría su implementación a mayor escala en el futuro, contribuyendo al desarrollo de soluciones energéticas sostenibles a nivel nacional.

## Limitaciones

La disponibilidad y tipo de residuos orgánicos utilizados puede variar significativamente entre hogares, lo cual podría influir en la producción de biogás y en la eficiencia del sistema, limitando la estandarización de los resultados.

Otra limitación importante corresponde a la falta de control total sobre variables ambientales como la temperatura, la cual influye directamente en el proceso de digestión anaerobia y en la generación de biogás, especialmente en condiciones reales de operación.

Adicionalmente, el análisis financiero se basa en estimaciones teóricas y supuestos de consumo energético, por lo que los resultados económicos pueden diferir en escenarios reales dependiendo del comportamiento del usuario y del contexto específico de cada vivienda.

## II. MARCO TEÓRICO

El diseño de biodigestores domésticos como solución energética y ambiental ha cobrado relevancia en el contexto de la sostenibilidad, especialmente en países como Costa Rica, donde los residuos orgánicos representan una proporción significativa de los desechos domiciliarios. El presente marco teórico aborda los fundamentos científicos, técnicos y sociales que sustentan la digestión anaerobia como proceso biotecnológico para la producción de biogás y biofertilizantes. Se exploran los principios bioquímicos del proceso, los tipos de biodigestores existentes, los parámetros críticos de operación, y las experiencias previas tanto a nivel internacional como nacional que han demostrado su viabilidad en entornos rurales y urbanos. Asimismo, se analizan las implicaciones ambientales, económicas y sociales de su implementación, con el fin de contextualizar el diseño de un prototipo adaptado al hogar costarricense, utilizando materiales accesibles y criterios de eficiencia, seguridad y facilidad de uso.

### 2.1 Gestión de residuos sólidos

#### 2.1.1 ¿Qué es la basura?

La basura es un término comúnmente utilizado para describir los materiales y objetos que ya no tienen un uso directo o que se consideran desechables. Se refiere a todos los residuos que tienen diferentes orígenes, como desperdicios de casa-habitación, oficinas, calles, comercio e industrias, estos elementos a menudo se descartan sin considerar sus posibles usos posteriores, lo que puede tener impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad. No hace falta ir muy lejos para encontrar montones de basura en los rellenos sanitarios o incluso vertederos en terrenos baldíos que son foco de infecciones para la sociedad y contaminación para el medio ambiente. La basura generalmente se compone de residuos no segregados, es decir, una mezcla heterogénea de diferentes tipos de materiales y la clave de transformar esta basura en recurso es justamente eso: la segregación. (Río, 2023)



*Ilustración 4. Diferencia entre residuo y basura*

*Fuente. (Río, 2023)*

### 2.1.2 ¿Qué son los residuos?

Por otro lado, el término residuo se refiere a los materiales que aún tienen el potencial de ser aprovechados y reutilizados de manera eficiente. Es decir, son los materiales que ya cumplieron con su función principal y que han sido desechados pero que aún tienen un valor potencial.

Por eso decimos que la segregación de la basura es la clave para rescatar los residuos. Porque cuando se hace una separación cuidadosa de los materiales en categorías como papel, plástico, vidrio, metal y orgánicos, se abre la posibilidad de ser reciclados, reutilizados o transformados en energía, lo que reduce la cantidad de basura que termina en vertederos y su impacto ambiental. En otras palabras, los desechos revueltos y sin ningún tratamiento son basura. Los residuos bien segregados, son un recurso. (Río, 2023)



*Ilustración 5. Economía circular: cómo separar los residuos en origen y porqué es tan importante*

*Fuente. (ecodes, s.f.)*

### 2.1.3 Realidad de los residuos en Costa Rica

Según información del Instituto Nacional de Estadística y Censos se demuestra que solo el 84% de las viviendas del país cuenta con servicio de recolección de residuos por medio de camión recolector, el 10% los queman, un 5% los entierran o disponen en huecos y el porcentaje restante, los tiran a los cuerpos de agua, prácticas que generan impactos negativos en el ambiente. Por otro lado, según datos del Ministerio de Salud, durante el 2014, de las aproximadamente 4000 toneladas de residuos sólidos generadas diariamente en el país; 3000 toneladas fueron depositadas en rellenos sanitarios, quedando aproximadamente 1000 toneladas de residuos con destinos como vertederos, calles, ríos, lotes baldíos y una mínima parte se recicló. (Ministerio de Salud Costa Rica, 2022)

	2021		2020		2019		2018		2017	
<b>Población</b>	<b>5 163 021</b>		<b>5 111 221</b>		<b>5 057 999</b>		<b>5 003 393</b>		<b>4 947 481</b>	
<b>Residuos ordinarios generados</b>	<b>1 618 533</b>	<b>100%</b>	<b>1 459 288</b>	<b>100%</b>	<b>1 343 608</b>	<b>100 %</b>	<b>1 462 397</b>	<b>100%</b>	<b>1 266 917</b>	<b>100%</b>
a) Hogares;	<b>1 327 197</b>	82,0%	1 181 662	81,0%	1 071 032	79,7%	1 063 012	72,7%	898 370	70,9%
b) Otros (Comercios, Hospitales, Clínicas, Industrias, Escuelas, Colegios, Universidades, etc.)	<b>291 336</b>	18,0%	277 626	19,0%	272 576	20,3%	399 385	27,3%	368 547	29,1%
<b>Tratamiento designado y disposición final</b>	<b>1 618 533</b>	<b>100%</b>	<b>1 459 288</b>	<b>100,0%</b>	<b>1 343 608</b>	<b>100%</b>	<b>1 462 397</b>	<b>100%</b>	<b>1 266 917</b>	<b>100%</b>
<b>Tratamiento designado :</b>	<b>1 437 988</b>	<b>88,8%</b>	<b>1 314 269</b>	<b>90,1%</b>	<b>1 253 156</b>	<b>93,3%</b>	<b>1 357 572</b>	<b>92,8%</b>	<b>1 147 345</b>	<b>90,6%</b>
(1) <b>Recuperación;</b>	<b>155 932</b>	9,6%	91 057	6,2%	90 707	<b>6,8%</b>	61 370	<b>4,2%</b>	103 895	<b>8,2%</b>
Reciclaje;	<b>63 917</b>	3,9%	45 511	3,1%	39 827	3,0%	53 473	3,7%	100 207	7,9%
Compostaje;	<b>43 755</b>	2,7%	43 736	3,0%	50 677	3,8%	4 857	0,3%	1 774	0,1%
Co procesamiento;	<b>48 259</b>	3,4%	1 810	0,1%	203	0,0%	3 040	0,2%	1 914	0,2%
<b>Disposición final:</b>	<b>1 462 601</b>	<b>90,4%</b>	<b>1 368 230</b>	<b>93,8%</b>	<b>1 252 901</b>	<b>93,3%</b>	<b>1 401 027</b>	<b>95,8%</b>	<b>1 163 022</b>	<b>91,8%</b>
(2) Rellenos Sanitarios y Vertederos;	<b>1 282 057</b>	79,2%	1 223 212	83,8%	1 162 450	86,5%	1 296 202	88,6%	1 043 450	82,4%
(3) Otra disposición final de residuos en sitios no controlados.	<b>180 544</b>	11,2%	145 019	9,9%	90 451	6,7%	104 825	7,2%	119 572	9,4%

Ilustración 6. Residuos ordinarios del 2017 al 2021 en Costa Rica en toneladas y porcentajes con base en la generación de cada año respectivamente.

Fuente. (Ministerio de Salud Costa Rica, 2022)

## 2.1.4 Rellenos sanitarios y vertederos

Primero debemos comenzar por entender las diferencias entre ambos conceptos. Los vertederos son también conocidos como basureros a cielo abierto y se definen como instalaciones permanentes cuyo propósito es el confinamiento de residuos de forma descontrolada, por lo que se da la producción de gases y lixiviados que contaminan el suelo y las aguas. Por su parte, los rellenos sanitarios son obras de ingeniería que permiten la disposición final de los residuos sólidos confinando a la menor superficie posible los cuales se cubre con capas de tierra diariamente, de manera que los materiales no tienen contacto con el suelo ni con las aguas subterráneas o superficiales. (Vicente, 2020)

## **Rellenos sanitarios casi colapsados**

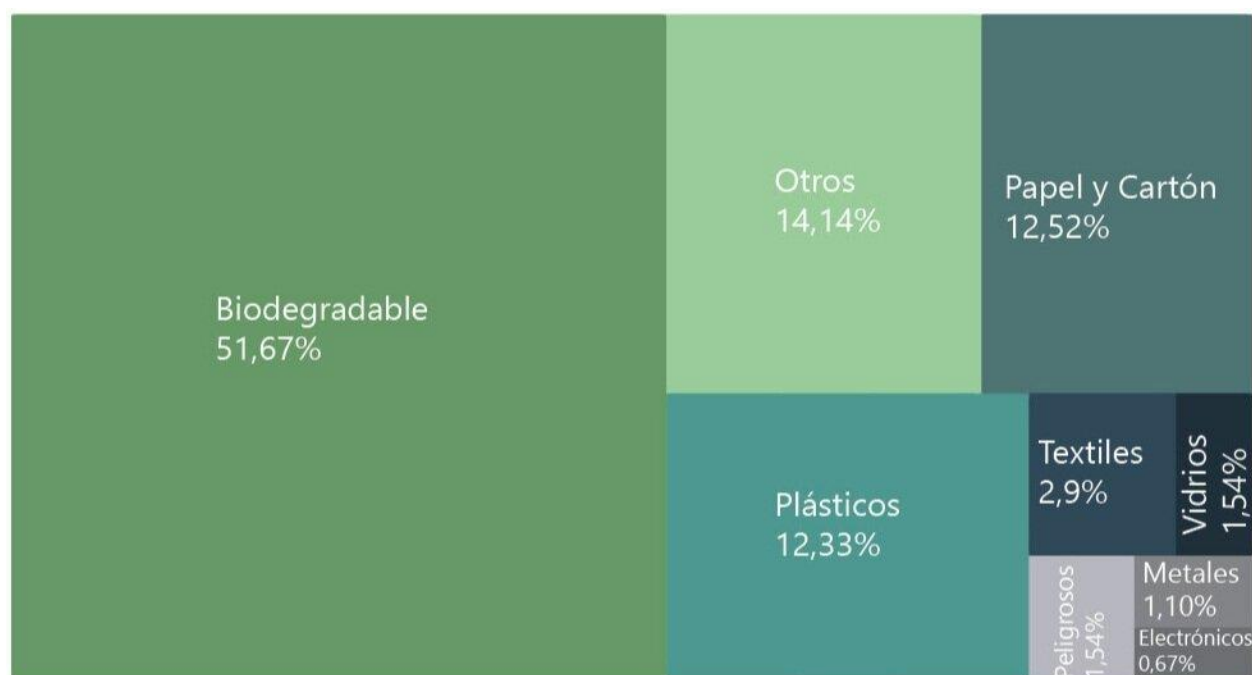
Para el año 2019 en Costa Rica contábamos con 16 vertederos y 7 rellenos sanitarios, mientras que la gran mayoría de cantones urbanos depositan sus residuos en rellenos sanitarios, aún existen 22 municipalidades en zonas predominantemente rurales que mantienen el uso de vertederos. La situación es insostenible puesto que para el año 2016, 6 rellenos sanitarios y 10 vertederos se encontraban en estado de cierre técnico, lo cual significa que han alcanzado el máximo de su capacidad para la cual fueron diseñados por lo que deben iniciarse obras de estabilización y mitigación de los efectos ambientales para readecuar el sitio. (Vicente, 2020)

En el pasado los cierres de vertederos o rellenos sanitarios como Río Azul en La Unión o Los Mangos en Alajuela, ha obligado a las municipalidades a encontrar en muy poco tiempo un nuevo sitio de disposición de residuos, lo que resulta en ineficiencias logísticas y costos ambientales adicionales, por ejemplo las municipalidades de Heredia y Barva vierten los residuos en un relleno sanitario en Miramar de Puntarenas, Mientras que la Municipalidad de Garabito lo hace en un relleno ubicado en Dulce Nombre de Cartago. Cada vez producimos más residuos y nos estamos quedando sin sitios adecuados dónde depositarlos. (Vicente, 2020)

## **¿Qué residuos hay en las 4000 Toneladas de residuos generados a diario?**

El principal componente de los residuos sólidos es la porción biodegradable u orgánica que representa el 52% de todos nuestros residuos, o 2068 toneladas diarias. También destacan el cartón y papel y plástico con un 12.5% y 12.3%, respectivamente

Un 9,2% de nuestros residuos o 368 toneladas están compuestos por vidrio, metales, textiles, residuos peligrosos y residuos electrónicos. Mientras que un 14,14% de los residuos o 565,6 toneladas de residuos se catalogan como otros dado que no corresponde a ninguna de las categorías anteriores. (Vicente, 2020)



*Ilustración 7. Composición porcentual por peso de los residuos de Costa Rica*

*Fuente. (Vicente, 2020)*

## 2.2 Contexto Energético en Costa Rica

### 2.2.1 Uso de Gas LP en hogares costarricenses

Un total de 710 mil hogares costarricenses utilizan Gas LP para cocinar y representan el 41 % de los consumidores de este producto, seguidos por el sector industrial (34 %), el sector comercial (14.5%) y las estaciones de servicio (10.5%), según el Informe 2020 de la Calidad del Gas LP, dado a conocer este 20 de julio por la Intendencia de Energía de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). (RECOPE, 2021)

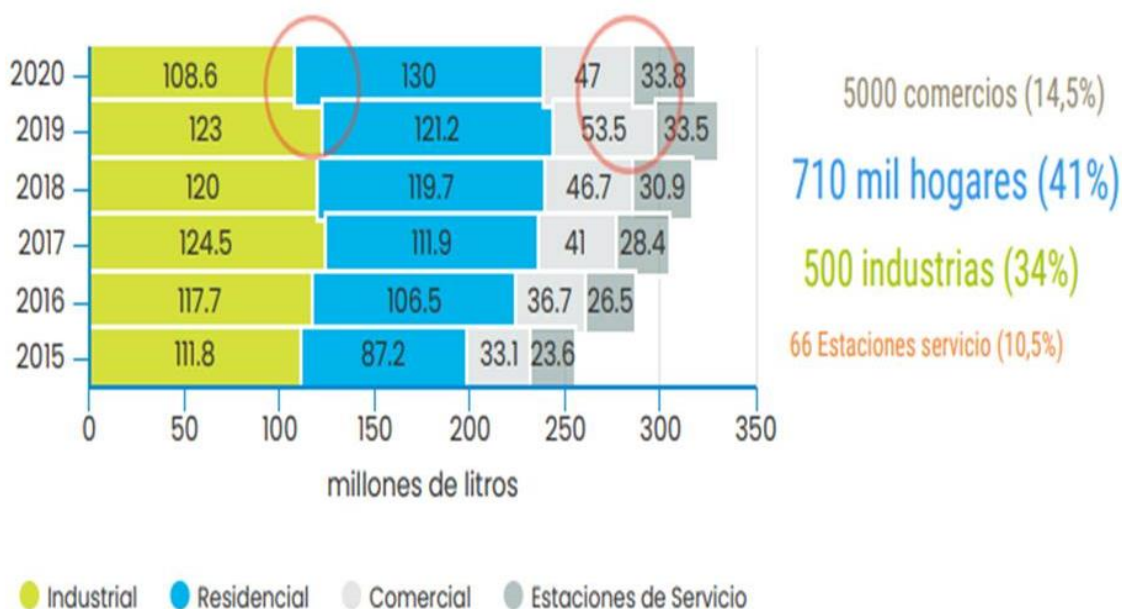


Ilustración 8. Consumo Sectorial Histórico y distribución aproximada de clientes 2020

Fuente. (RECOPE, 2021)

### 2.2.2 Uso de leña y efectos en la salud

Además de las partículas, que son el contaminante más visible, existen otros compuestos específicos, productos de la combustión y cocción, que están presentes en dichas emisiones y se adsorben en el material particulado. Entre los que provienen de la combustión de madera podemos citar por su toxicidad los hidrocarburos policromáticos o PAHs (considerados mutágenos y cancerígenos, entre ellos benzopirenos, dibenzoantracenos y dibenzocarbazoles; y otros productos tóxicos como aldehídos, fenoles y creoles. (Vargas, 2003)

Las sustancias irritantes en la madera incluyen quinonas y óxidos de nitrógeno y azufre. Entre los compuestos de menor peso molecular presentes en el aroma de la carne de res cocida se citan los de las familias de los hidrocarburos alifáticos, heterocíclicos, alicíclicos, aromáticos, además de gases como los óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Los efectos agudos de estas sustancias descritos en la literatura son envenenamiento por humo, reacciones alérgicas, conjuntivitis, irritación e inflamación del tracto e infecciones respiratorias. Entre los

efectos por exposición prolongada se encuentran la bronquitis, enfermedad obstructiva pulmonar crónica, cáncer y afectación de la capacidad pulmonar. (Vargas, 2003)

Existen estudios que demuestran incrementos en los daños pulmonares con incrementos en las dosis de humo de madera, especialmente en niños. Esto incluye infecciones respiratorias de las vías inferiores (neumonía aguda, bronquitis), así como agravamiento del asma, enfisema, neumonía y bronquitis. También se ha visto la irritación de los ojos, dolores de cabeza, e iniciación de alergias. Los efectos crónicos pueden desencadenar en enfisema, bronquitis crónica, arteriosclerosis, y cánceres nasales, de garganta, pulmón, y sistema hematopoyético (según estudios en animales). (Vargas, 2003)

Los humos contienen partículas tan pequeñas que no son detenidas por puertas ni ventanas cerradas y se diseminan por los vecindarios. Las pequeñas partículas no pueden ser filtradas por la nariz ni por el sistema respiratorio superior, y penetran profundamente en los pulmones, donde pueden permanecer por meses y causar daños estructurales y cambios químicos. Adheridas a estas partículas penetran las sustancias tóxicas (irritantes, mutagénicas y cancerígenas). La EPA (EE. UU.) sugiere que el riesgo de contraer cáncer durante una vida, como producto de exposición a humos de madera puede ser 12 veces mayor que el riesgo de cáncer por exposición a un mismo nivel de humos de cigarro. Asimismo, el riesgo de cáncer proveniente de una exposición a emisiones vehiculares se consideró 3 veces menor que el riesgo de cáncer por una exposición similar a humos de madera. (Vargas, 2003)

<b>Síntomas</b>	<b>% de presentación</b>
Mareos	91%
Irritación de ojos	82%
Cefalea	73%
Expectoración mucosa	64%
Sibilancias (no asociadas con gripe)	55%
Disnea(*)	55%
Tos (al menos 4 episodios/día)	45%
Tos durante todo el día	18%

*Ilustración 9. Síntomas de 11 pacientes expuestas a la inhalación de humo de leña por más de 30 años*

*Fuente (binasss, 1990)*

## 2.3 Biodigestores

### 2.3.1 ¿Que es un biodigestor?

Un biodigestor es un dispositivo que utiliza microorganismos para descomponer materia orgánica, como residuos de alimentos o estiércol, y transformarlo en biogás y fertilizante natural. El biogás producido es una fuente de energía renovable que se puede utilizar para cocinar, calentar agua o generar electricidad. Por otro lado, el fertilizante natural que se obtiene es rico en nutrientes y se puede utilizar en agricultura y jardinería. Un biodigestor es una alternativa sostenible y eficiente para el tratamiento de residuos orgánicos y la generación de energía y fertilizantes naturales. Además, contribuye a reducir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y por lo tanto reduce la contaminación del medio ambiente. (Promart, s.f.)

### 2.3.2 Beneficios del biodigestor

Los biodigestores permiten aprovechar residuos orgánicos para producir biogás como fuente de energía renovable, reduciendo la dependencia de combustibles convencionales. Además, contribuyen a disminuir la contaminación ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero, al mismo tiempo que generan un fertilizante natural y mejoran las condiciones sanitarias.

(argentina, s.f.) indica que:

Producir biogás naturalmente, con un elevado poder calorífico, para ser utilizado como combustible, evitando así la extracción de combustibles no renovables.

Aprovechar residuos orgánicos que de otra manera terminan siendo derivados a un sitio de disposición final.

Obtener un fertilizante natural a partir de su desecho sólido, el cual puede ser comercializado y utilizado.

Promover el desarrollo sostenible evitando la emisión de gases de efecto invernadero los biodigestores reducen la emisión de metano a la atmósfera,

Mejorar las condiciones sanitarias, al evitar malos olores, insectos y controlar los microorganismos capaces de generar enfermedades.

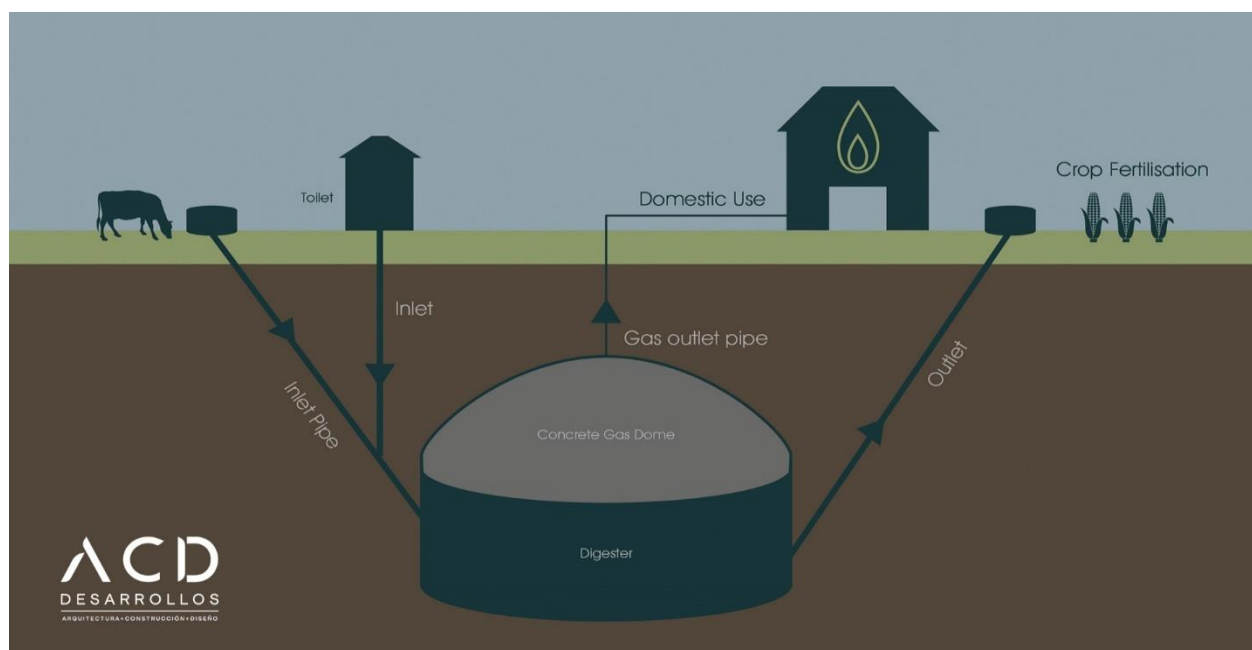
### 2.3.3 Clasificación según alimentación

Los biodigestores pueden clasificarse según su forma de alimentación, lo cual determina la manera en que se incorporan los residuos y se extraen los productos del sistema.

(ACD Desarrollos, 2023) señala que,

#### **Biodigestores discontinuos**

Los biodigestores discontinuos o por lotes son contenedores cerrados que una vez que están cargados no permiten extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso de biodegradación y producción de biogás. Esta clase de sistema se emplea cuando la disponibilidad de desechos orgánicos es entrecortada. Para funcionar necesita que la carga total del material orgánico se realice al inicio del proceso a fin de que la descarga sea fluida y constante. Esta clase de biodigestor cuenta con un depósito de gas que llega a producir grandes cantidades de gas.

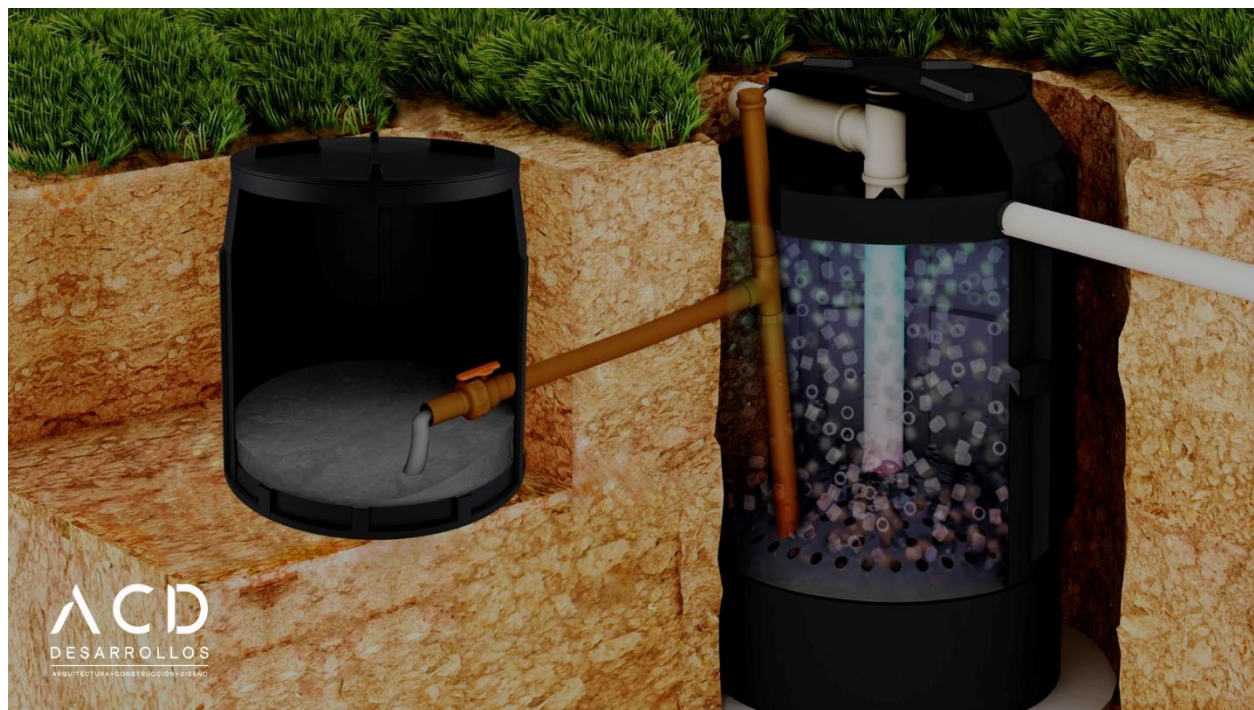


*Ilustración 10. Biodigestor Discontinuo*

*Fuente. (ACD Desarrollos, 2023)*

### **Biodigestor semicontinuo**

Esta clase de biodigestores son alimentados diariamente con una carga relativamente pequeña en comparación al contenido total. A diferencia del sistema discontinuo, las cargas y descargas se realizan a plazos determinados durante el proceso de producción del biogás que generalmente producen nutrientes para las comunidades de bacterias.



*Ilustración 11. Biodigestor semicontinuo*

*Fuente. (ACD Desarrollos, 2023)*

### **Biodigestores de mezcla completa**

La particularidad de este tipo de biodigestor es que la carga añadida periódicamente se mezcla casi en su totalidad con el contenido ya presente en la cámara de digestión. En este caso, la carga y descarga es un proceso continuo por lo que se requiere de disponibilidad permanente de desechos orgánicos. Este sistema se considera industrial y de grandes dimensiones para el procesamiento de aguas servidas de comunidades. Para esto se emplea un sistema de tanques de recolección, bombas para el traslado hacia los biodigestores y la extracción del fertilizante. El

biogás obtenido es sometido a un sistema de filtrado, para posteriormente ser distribuido mediante una comprensión para garantizar llegue a todos los usuarios.



*Ilustración 12. Biodigestor continuo*

*Fuente. (ACD Desarrollos, 2023)*

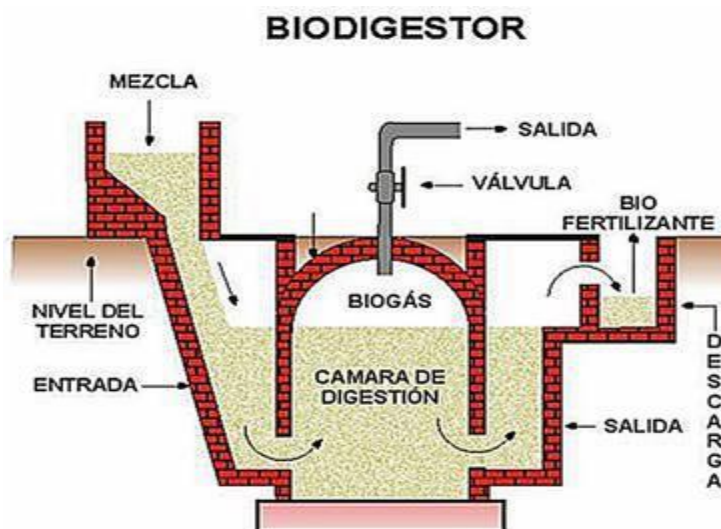
### 2.3.4 Tipos de Biodigestores más usados según su diseño estructural

Existen diversas configuraciones de biodigestores que se diferencian principalmente por su diseño estructural y forma de almacenamiento del biogás, lo cual influye en su funcionamiento, construcción y aplicación en distintos contextos.

(octoen, s.f.) afirma que,

#### **Biodigestor de domo fijo**

Es uno de los tipos más comunes de biodigestores utilizados a nivel mundial. Consiste en una cámara con forma de domo construida con concreto o ladrillo. El diseño de domo fijo es duradero, rentable y adecuado tanto para aplicaciones a pequeña como a gran escala. Sin embargo, requiere mano de obra calificada para su construcción y mantenimiento regular.



*Ilustración 13. Biodigestor de domo fijo*

*Fuente. (gesalor, 2025)*

### **Biodigestor de domo flotante**

También conocido como digestor de gasómetro, este tipo cuenta con un domo móvil que sube y baja con la producción de biogás. El sistema de biodigestor de domo flotante es fácil de operar y proporciona una indicación clara de los niveles de producción de biogás. Sin embargo, es menos duradero que los sistemas de domo fijo y puede requerir reparaciones más frecuentes.

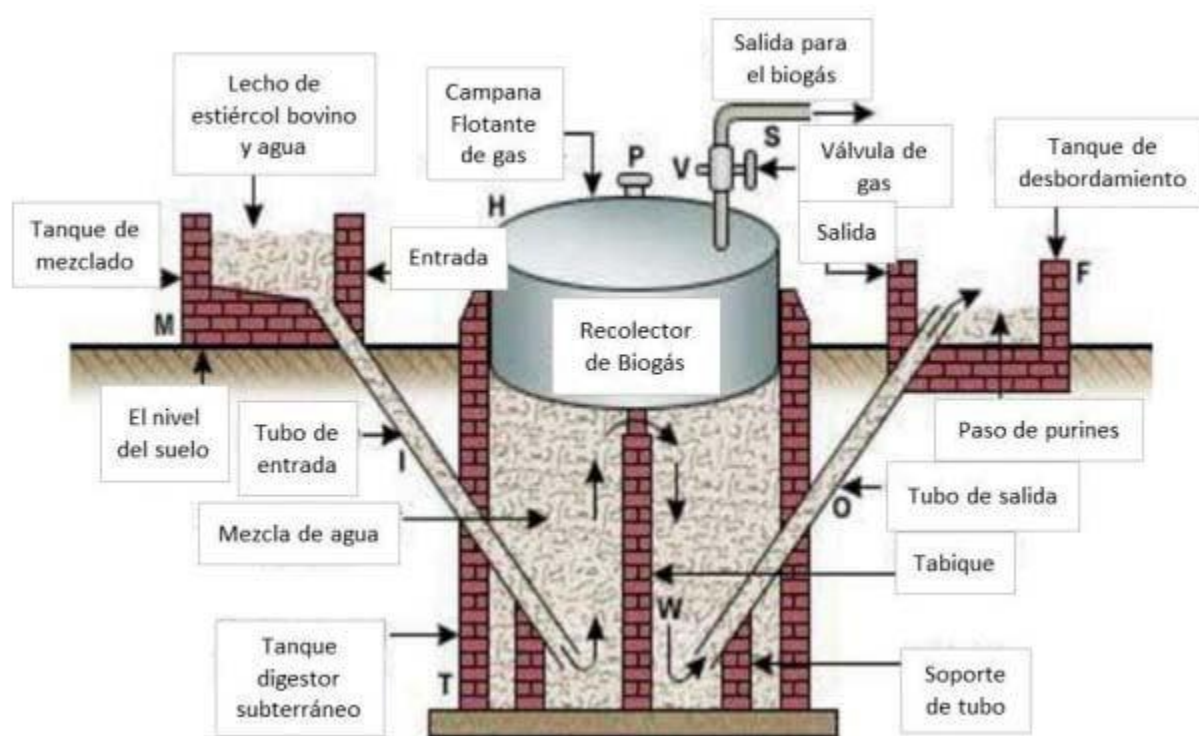


Ilustración 14. Biodigestor de domo flotante

Fuente. (Hernando, 2020)

### Biodigestor tubular

Este tipo de biodigestor está diseñado para procesar grandes volúmenes de residuos, lo que lo hace ideal para granjas y aplicaciones industriales. El sistema de flujo continuo tiene una cámara larga y estrecha donde los residuos fluyen continuamente de un extremo al otro. Es eficiente y capaz de manejar residuos con un alto contenido de sólidos.



*Ilustración 15. Biodigestor tubular*

*Fuente. (Infocampo, s.f.)*

## 2.4 Digestión Anaerobia

### 2.4.1 Definición

La digestión anaeróbica es un proceso mediante el cual las bacterias descomponen la materia orgánica como el estiércol animal, los biosólidos de aguas residuales y los residuos alimentarios en ausencia de oxígeno. La digestión anaeróbica para la producción de biogás se lleva a cabo en un recipiente sellado llamado reactor, que se diseña y construye en diversas formas y tamaños según las condiciones del sitio y la materia prima. Estos reactores contienen comunidades microbianas complejas que descomponen (o digieren) los residuos y producen biogás y digestato (los productos finales sólidos y líquidos del proceso de digestión anaeróbica), que se descargan del digestor. (United States Environmental Protection Agency, 2025)

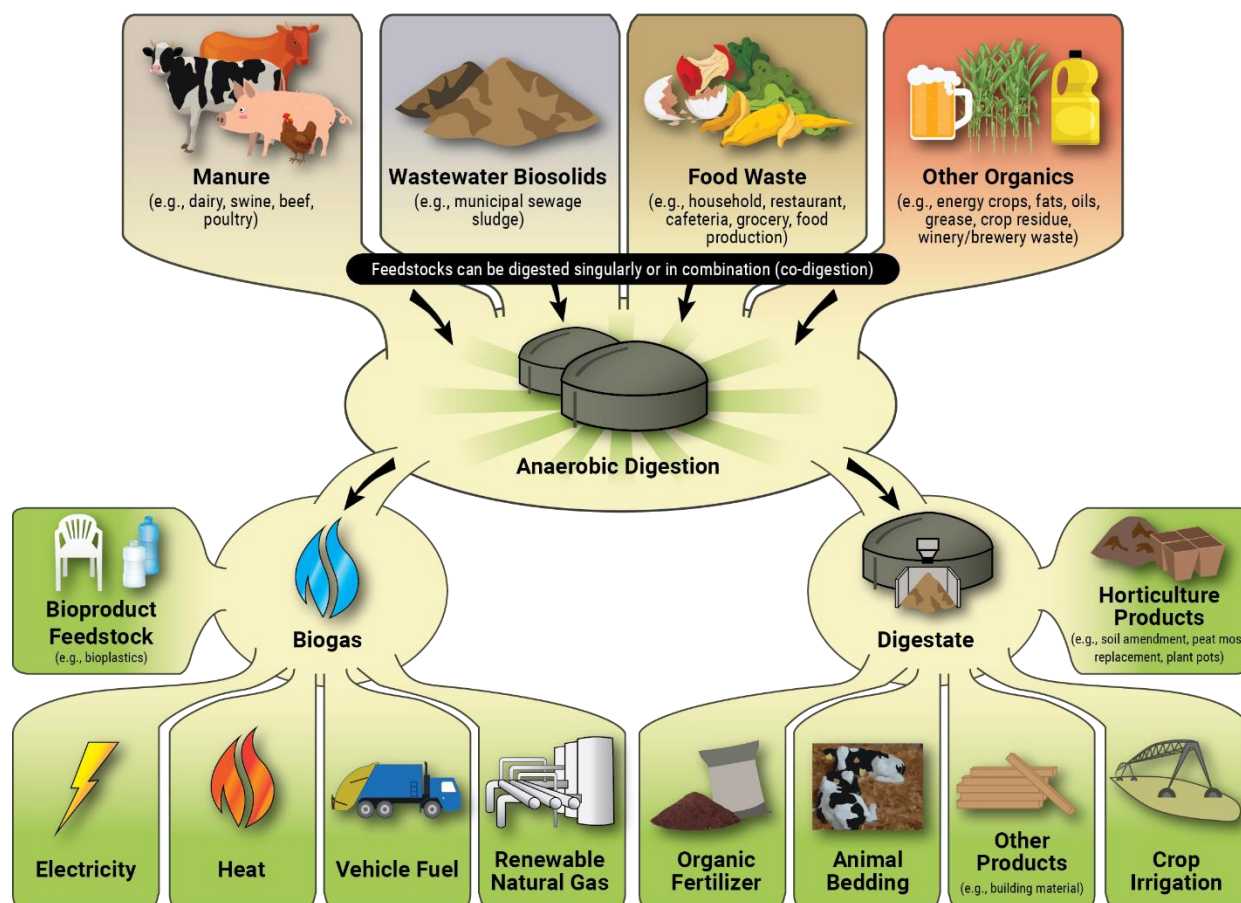


Ilustración 16. Digestión anaeróbica y sus productos

Fuente. (United States Environmental Protection Agency, 2025)

### 2.4.1 Etapas de la biodigestión anaerobia

La biodigestión anaerobia se desarrolla a través de varias etapas biológicas interrelacionadas, en las cuales los microorganismos transforman progresivamente la materia orgánica hasta generar biogás y digestato.

(Ogisa, 2025) afirma que,

**Hidrolisis:** En esta primera fase, las moléculas orgánicas complejas, como carbohidratos, proteínas y grasas, se descomponen en compuestos más simples, como azúcares, aminoácidos y ácidos grasos. Esta etapa es clave para que los microorganismos puedan aprovechar la materia orgánica como fuente de energía.

**Acidogénesis:** Los compuestos simples obtenidos en la hidrólisis son transformados por bacterias en ácidos grasos volátiles, alcoholes y gases como hidrógeno y dióxido de carbono. Esta fase es crucial para preparar los compuestos necesarios para la siguiente etapa.

**A-cetogénesis:** Durante esta etapa, los ácidos grasos y alcoholes producidos anteriormente se convierten en ácido acético, dióxido de carbono y más hidrógeno. El ácido acético es un precursor directo del metano, por la última fase, bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, el dióxido de carbono y el hidrógeno en metano, el principal componente del biogás. Esta fase es responsable de la mayor parte de la producción de energía del proceso.

**Metanogénesis:** En la última fase, bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, el dióxido de carbono y el hidrógeno en metano, el principal componente del biogás. Esta fase es responsable de la mayor parte de la producción de energía del proceso.

## 2.5 Biogás

### 2.5.1 ¿Qué es el biogás?

El biogás es un tipo de gas renovable que se genera mediante la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, un proceso conocido como digestión anaerobia. Este fenómeno, que ocurre de manera natural o en entornos controlados como los biodigestores, permite que microorganismos descompongan los desechos orgánicos y produzcan gases que pueden ser aprovechados como energía.

#### **Como se obtiene el biogás?**

La producción de biogás se lleva a cabo a través de un proceso biológico conocido como digestión anaerobia, en el que microorganismos especializados descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso ocurre de forma controlada en instalaciones llamadas biodigestores, que están diseñadas para mantener las condiciones ideales de temperatura, humedad y ausencia de oxígeno necesarias para maximizar la producción de gas.

La digestión anaerobia es un proceso natural que imita lo que ocurre en entornos como pantanos o vertederos, pero al realizarse en biodigestores se optimiza la producción del biogás, evitando las emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero. Además, este sistema permite aprovechar diversos tipos de residuos que de otra manera serían desechados, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los recursos.

### **Biogás como energía renovable**

El biogás es un tipo de gas renovable que se genera mediante la descomposición de materia orgánica en ausencia de oxígeno, un proceso conocido como digestión anaerobia. Este fenómeno, que ocurre de manera natural o en entornos controlados como los biodigestores, permite que microorganismos descompongan los desechos orgánicos y produzcan gases que pueden ser aprovechados como energía. Gracias a su alto contenido de metano, el biogás puede utilizarse para generar electricidad, calor o incluso como combustible para vehículos, contribuyendo a la transición energética y a la mitigación del cambio climático.

(Geniabioenergy, s.f.) indica que,

- El uso de las energías renovables y su expansión en la industria y la sociedad son un requisito indispensable para que podamos ver cubiertas todas nuestras necesidades energéticas sin tener que renunciar a nuestro patrimonio natural. Además, la lista de beneficios que proporciona en el medio ambiente el uso de energías renovables incluye:
- No emiten gases de efecto invernadero ni otros que contribuyen al cambio climático.
- Reducen la contaminación y, por lo tanto, la incidencia de enfermedades relacionadas con este problema.
- No generan residuos difíciles de eliminar.
- Las plantas de generación de energías renovables no necesitan de una gran cantidad de agua para su funcionamiento.

- Reducen el riesgo de inundación y erosión de los terrenos, fruto de proyectos hidroeléctricos de gran escala.
- Los combustibles renovables, como el biogás, representan el futuro de la producción energética marcada por su sostenibilidad. Por lo tanto, su uso nos evitará acabar con los recursos naturales finitos de los que disponemos en la actualidad.
- El uso de las energías renovables y su expansión en la industria y la sociedad son un requisito indispensable para que podamos ver cubiertas todas nuestras necesidades energéticas sin tener que renunciar a nuestro patrimonio natural. Además, la lista de beneficios que proporciona en el medio ambiente el uso de energías renovables incluye:
  - No emiten gases de efecto invernadero ni otros que contribuyen al cambio climático.
  - Reducen la contaminación y, por lo tanto, la incidencia de enfermedades relacionadas con este problema.
  - No generan residuos difíciles de eliminar.
  - Las plantas de generación de energías renovables no necesitan de una gran cantidad de agua para su funcionamiento.
  - Reducen el riesgo de inundación y erosión de los terrenos, fruto de proyectos hidroeléctricos de gran escala.

### 2.5.3 Aplicaciones del Biogás

El biogás puede emplearse en diferentes usos energéticos, tanto a nivel doméstico como industrial, destacando su aprovechamiento en procesos de cocción, generación de energía y sustitución parcial de combustibles convencionales.

(Ogisa, 2025) indica que,

- Generación de electricidad: El biogás puede alimentar motores generadores para producir energía eléctrica, útil en zonas rurales o sistemas autónomos.
- Combustible para cocinar: Se usa directamente en estufas domésticas como sustituto del gas LP, reduciendo costos y emisiones.

- Transporte: Transformado en biometano, puede usarse como combustible vehicular en buses, camiones o flotas industriales.
- Calefacción y procesos térmicos: En industrias, se utiliza para calderas, hornos o procesos que requieren calor constante.
- Producción de biometano: El biogás puede purificarse para obtener biometano, un gas con calidad similar al gas natural.
- Créditos de carbono: Su uso puede generar beneficios ambientales certificados, útiles en proyectos sostenibles.
- Celdas de combustible: En sistemas avanzados, el biogás puede alimentar celdas para generar electricidad con alta eficiencia.
- Tratamiento de residuos: Se integra en plantas de tratamiento para aprovechar residuos orgánicos y reducir su impacto.

#### 2.5.4 Condiciones óptimas para la generación de biogás

Temperatura: Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás. Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos, mesófilos y termófilos (entre 45 y 65°C), conforme al tiempo de fermentación. (Moreno, 2011)

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psychrophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

*Ilustración 17. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaerobia*

*Fuente: (Moreno, 2011)*

(Corrales, 2024) indica que,

**Humedad:** El rango ideal de humedad en la materia orgánica para la digestión anaerobia suele estar entre el 50 y el 70 %, dando condiciones óptimas para el crecimiento y la actividad de los 5 microorganismos responsables de la digestión. Una humedad demasiado baja puede ralentizar el proceso de digestión al reducir la actividad microbiana.

**Rangos de pH:** El pH debe oscilar entre rangos de 6,5 a 7,5 para que la actividad enzimática sea la adecuada. Este parámetro se ve altamente relacionado con las sustancias inhibidoras en la etapa metanogénica.

**Tiempo de retención hidráulica:** Promedio de tiempo que la materia orgánica permanece en el reactor para que se dé su degradación.

**Relación C/N:** Nitrógeno tiene importantes funciones dentro de la digestión anaerobia como la síntesis de proteínas, equilibrio nutricional y amortiguación en el pH aporta energía al proceso y es esencial para la producción de biogás, dado que sus principales componentes son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), relación óptima está en el rango de 20:1 a 30:1.

Sustancia	Símbolo	Porcentaje (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	50 – 70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30 – 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	5 – 10
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	1 – 2
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0.3
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	Trazos

*Ilustración 18. Composición del Biogás*

*Fuente. (ICE, s.f.)*

El biogás presenta una densidad menor que la del aire, por lo que, al liberarse, tiende a elevarse. Por ello, en sistemas de conducción y alivio de presión, la orientación ascendente de la descarga constituye una medida de seguridad que favorece su dispersión en la atmósfera y disminuye el riesgo de acumulaciones peligrosas (Moreno, 2011).

## 2.6 Reglamentación biogás en Costa Rica

### 2.6.1 Normativa aplicable

Decreto Ejecutivo No. 44568. Reglamento para la regulación del almacenamiento, transporte y comercialización del biogás y biometano en Costa Rica para escalas semiindustriales e industriales

Este decreto regula el almacenamiento, transporte y comercialización de biogás y biometano para escalas semiindustriales e industriales. Por ende, es de acatamiento obligatorio a toda persona física o jurídica que almacene, transporte y comercialice biogás y biometano en el territorio nacional en escalas semiindustriales e industriales.

PN INTE E56:2020 “Requisitos mínimos para las plantas de biogás de escala mediana y grande y sus componentes asociados.

Establece los requisitos mínimos para el funcionamiento, construcción, diseño, puesta en marcha, mantenimiento e inspección de sistemas de producción de digestión anaerobia para aprovechamiento de biogás. Esta norma utiliza de referencia las normas INTE/ISO 20675 e INTE/ISO 22580, la misma fue aprobada el 5 de octubre del 2020 y se clasifica dentro del sector de energía.

INTE/ISO 20675:2019 “Términos, definiciones y esquema de clasificación para la producción, acondicionamiento, mejoramiento y utilización de biogás”, contiene las principales definiciones de términos y clasificaciones relacionadas con la producción de biogás, gasificación de biomasa, acondicionamiento de biogás, utilización y mejoramiento de este. Esta norma fue aprobada el 29 de junio del 2019 y se clasifica dentro del sector de energía.

Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA. Ese código exige que las tuberías de gas no trabajen forzadas, que la instalación cumpla estándares reconocidos y que sea conforme con NFPA 54 y NFPA 58; además indica materiales permitidos para tuberías de gas, como acero negro, cobre, PE y acero inoxidable corrugado, y exige soportes adecuados.

Norma ISO 23590:2020. Establece los requisitos para el diseño, instalación, operación, mantenimiento y seguridad de sistemas de biogás domésticos de baja presión. Su utilidad principal en este proyecto radica en que define componentes mínimos del sistema, criterios de seguridad, requisitos de materiales, condiciones de instalación y parámetros básicos para el dimensionamiento

NFPA 54, conocida como el Código Nacional de Gas Combustible (ANSI Z223.1), establece los requisitos de seguridad fundamentales para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de tuberías y equipos de gas combustible. Su objetivo principal es prevenir incendios y explosiones en sistemas de gas natural y GLP dentro de edificaciones

## 2.7 Indicadores Financieros

Cuando se plantea un proyecto, los indicadores financieros son herramientas clave para evaluar si este es viable o no. Su importancia radica en que permiten medir la rentabilidad, el riesgo y la sostenibilidad económica del proyecto antes de invertir tiempo y recursos, en este caso se utilizara el Valor Actual Neto (VAN) y el Tasa Interna de Retorno (TIR).

### 2.7.1 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación se define como el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial. En otras palabras, es el tiempo que tarda una inversión en alcanzar su punto de equilibrio. Tanto particulares como empresas invierten su dinero con la intención de obtener rentabilidad. Por lo tanto, el periodo de recuperación es crucial para la inversión. Generalmente, un periodo de recuperación más corto hace que una inversión sea más atractiva. Calcular el periodo de recuperación es beneficioso para todos y se obtiene dividiendo la inversión inicial entre el promedio de los flujos de efectivo a lo largo del tiempo. (Huang, 2023)

### 2.7.2 Tasa de descuento

La tasa de descuento se utiliza para calcular el valor presente de los futuros flujos monetarios que se asignarán a un proyecto. Este indicador financiero permite evaluar los costos y los beneficios potenciales de una iniciativa, integrando en su cálculo el desfase temporal entre las inversiones realizadas en su mayoría antes del inicio del proyecto y durante su ejecución, y los retornos esperados por lo general expresados de forma anual. La tasa de descuento permite comparar los riesgos asociados con los beneficios potenciales de un proyecto como una inversión o una compra estratégica. Al realizar esta comparación, ayuda a identificar con mayor precisión aquellos proyectos que realmente generan valor futuro y, en consecuencia, a priorizar mejor sus recursos. (pipedrives, s.f.)

(Diz, 2026) señala que:

### 2.7.3 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es un método financiero que permite saber si una inversión es rentable. Esta métrica indica cuánto valen hoy los flujos de dinero futuros que generará un proyecto, descontando el coste inicial del capital.

En otras palabras, el VAN traduce todos los ingresos y gastos futuros de un proyecto al valor que tendrían en la actualidad. Si ese valor es positivo, significa que la inversión generará beneficios por encima del coste de inversión. Si es negativo, indica que perderías dinero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0$$

*Ecuación 1. Formula VAN*

*Fuente. (Diz, 2026)*

$F_t$  Flujo de caja en el periodo de tiempo

$r$  Tipo de interés

$t$  Año o periodo

$I$  Inversión inicial

$n$  Número de periodos considerado

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones: ver si una inversión es rentable y comparar alternativas.

Si el VAN es superior a 0, la inversión es rentable.

Si el VAN es 0, recuperas lo invertido, no obtienes ganancias ni pérdidas.

Si el VAN es menor a 0, el proyecto no es rentable.

(Cigoña, 2026) indica que,

## 2.7.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de un proyecto o inversión sea igual a cero. Dicho de forma más sencilla, representa la rentabilidad que puede generar una inversión a lo largo del tiempo.

La TIR es uno de los indicadores más utilizados para analizar la rentabilidad de proyectos o inversiones. Calcular la TIR de distintas alternativas permite comparar cuál puede generar un mayor rendimiento y facilita la toma de decisiones.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0$$

*Ecuación 2. Formula TIR*

*Fuente. (Cigoña, 2026)*

En esta fórmula intervienen las siguientes variables:

$I_0$ : inversión inicial realizada.

$C_n$ : flujo de caja o beneficios generados por la inversión en cada periodo.

$N$ : número total de periodos analizados.

$n$ : periodo en el que se generan los flujos de caja.

$r$ : tasa interna de retorno (TIR).

Principales diferencias entre VAN y TIR

(Pérez, 2026) indica que:

**El VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno)**

Son dos fórmulas financieras que hay que conocer. Como se emplean con frecuencia a la hora de analizar cuán oportuno puede ser el proyecto que se va a desarrollar en una empresa, hay

que saber bien a qué hacen referencia. A continuación, exponemos algunas de sus características y diferencias.

### **Aplicaciones del VAN**

Lo normal es que las empresas recurran a esta variable cuando quieren homogeneizar los flujos de caja neta. Es decir, convertir todos los montos de dinero generados o aportados en una única cifra. Por tanto, se usa cuando se quiere saber si el beneficio neto de un negocio es el adecuado o si se están teniendo pérdidas.

### **Aplicaciones del TIR**

El TIR se usa para saber si un negocio es o no rentable. El problema es que el resultado, al aplicar esta fórmula, no se puede comparar con los resultados de otros proyectos, porque en la rentabilidad influyen otras variables. No obstante, como mencionamos antes, para las primeras fases de un proyecto puede ser útil.

### **Importancia del VAN y TIR para calcular la rentabilidad de la inversión**

El VAN y TIR no son las únicas fórmulas para calcular la viabilidad de un proyecto de negocio o una inversión, sino que existen muchas otras. Sin embargo, en lo que sí parece que están de acuerdo buena parte de los profesionales del sector financiero es de que se trata de herramientas idóneas para las primeras fases del proceso.

### III. MARCO METODOLÓGICO.

#### Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que busca recolectar, medir y analizar datos numéricos relacionados con el fenómeno objeto de estudio. Según (Flores, 2025), este enfoque parte de una lógica deductiva, en la cual se formulan hipótesis claras y comprobables, sustentadas en teorías previas, para posteriormente someterlas a verificación mediante procedimientos estadísticos. Asimismo, se apoya en el uso de instrumentos estandarizados, lo que permite obtener información objetiva, replicable y sistemática

De igual manera, el enfoque cuantitativo resulta adecuado porque facilita el procesamiento de la información mediante herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales, permitiendo interpretar los datos con mayor precisión y generar conclusiones fundamentadas en evidencia numérica. Su aplicación favorece la objetividad, el control de las variables y la posibilidad de generalizar resultados a poblaciones más amplias, siempre que el diseño metodológico y la muestra lo permitan.

#### Instrumentos

Para alcanzar los resultados esperados, se utilizarán instrumentos que permitan recopilar, organizar y analizar información técnica y cuantificable sobre el diseño de un biodigestor doméstico. Entre ellos se contemplará una matriz de análisis bibliográfico, para reunir datos de fuentes especializadas sobre digestión anaerobia, producción de biogás y condiciones de funcionamiento; una tabla comparativa, para valorar tipos de biodigestores y materiales según costo, accesibilidad y eficiencia; una lista de verificación, para considerar aspectos de operación, seguridad y mantenimiento; una memoria de cálculo, para estimar variables técnicas como volumen, residuos aprovechables y producción teórica de biogás; y una hoja de cálculo financiera, para proyectar costos, ahorro potencial y viabilidad económica del prototipo. En conjunto, estos instrumentos permitirán sustentar de forma técnica y metodológica la propuesta de investigación.

#### Matriz de operacionalización de objetivos de la investigación

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Identificar los principios de la digestión anaerobia, los tipos de biodigestores, la producción de biogás y sus aplicaciones, mediante una investigación bibliográfica, con el fin de establecer los parámetros de diseño</p>	<p>Parámetros de diseño del biodigestor.</p>	<p>Rango de temperatura  - Rango de pH óptimo  - Tiempo de Retención  Hidráulica  - Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)  - Contenido de sólidos  - Carga orgánica</p>	<p>Conjunto de valores y rangos técnicos que definen las condiciones óptimas para que ocurra la digestión anaerobia y se maximice la producción de biogás, garantizando la estabilidad del proceso microbiológico</p>	<p>Revisión y análisis de literatura científica y técnica para identificar y sintetizar los parámetros críticos que gobiernan la digestión anaerobia, los cuales serán la base para el diseño del prototipo.</p>	<p>Matriz de análisis bibliográfico que consolida los parámetros de diseño extraídos de fuentes</p>

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Seleccionar el tipo de biodigestor y materiales de construcción más adecuados, mediante el análisis comparativo de distintas configuraciones existentes, considerando criterios técnicos, de seguridad, espacio disponible y tipo de residuo, con el fin de definir la alternativa más viable.</p>	<p>Tipo de biodigestor y materiales de construcción.</p>	<p>- Régimen de alimentación -Material del reactor - Tuberías y accesorios - Elementos de seguridad</p>	<p>Selección justificada de la configuración que mejor se adapta al contexto doméstico costarricense, basada en criterios de eficiencia, seguridad, costo, disponibilidad y facilidad de operación.</p>	<p>Análisis comparativo de tipos de biodigestores y evaluación de materiales disponibles en el mercado seleccionando aquellos que cumplen con los criterios establecidos.</p>	<p>Tabla comparativa de regímenes de alimentación. Lista de materiales de construcción con especificaciones, precios y proveedores, elaborada a partir de cotizaciones</p>

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Definir los parámetros de operación, seguridad y mantenimiento del sistema, a partir del análisis de buenas prácticas y criterios técnicos, con el fin de evaluar la viabilidad técnica y garantizar un diseño seguro y funcional.</p>	<p>Parámetros de operación, seguridad y mantenimiento.</p>	<p>Protocolo de alimentación - Frecuencia de mantenimiento - Dispositivos de seguridad - Procedimientos de purga y desinfección de lodos.</p>	<p>Conjunto de procedimientos, buenas prácticas y dispositivos técnicos necesarios para garantizar el funcionamiento seguro, estable y prolongado del biodigestor, así como la calidad del biogás y la seguridad del digestato.</p>	<p>Desarrollo de un plan de mantenimiento basado en antecedentes documentados y buenas prácticas de ingeniería, que incluye tareas específicas con su frecuencia y procedimiento, así como la inclusión de elementos de seguridad en el diseño.</p>	<p>Plan de mantenimiento estructurado, Lista de verificación de dispositivos de seguridad para la correcta realización . Protocolo de purga y desinfección .</p>

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Estimar la producción teórica de biogás, mediante el uso de ecuaciones de digestión anaerobia para estimación de ahorros económico.</p>	<p>Producción de biogás y ahorro energético.</p>	<p>Producción de biogás y ahorro energético. Metano generado (m<sup>3</sup>/día). - Energía generada (kWh/mes).</p>	<p>Cálculo teórico de la cantidad de biogás generable a partir de los residuos orgánicos de un hogar y su equivalencia energética, con el fin de estimar el ahorro potencial en el consumo de combustibles convencionales (GLP y leña).</p>	<p>Aplicación de ecuaciones de balance de masa y rendimientos teóricos de biogás, utilizando datos de generación de residuos per cápita en Costa Rica los parámetros de diseño y factores de conversión energética de la literatura</p>	<p>Memoria de cálculo sobre producción y comparación energética</p>

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Realizar una evaluación financiera de implementar el biodigestor doméstico diseñado, mediante un análisis técnico-económico basado en el porcentaje de ahorro generado por el biogás sobre el consumo de combustibles convencionales, con el fin de determinar la viabilidad económica del sistema.	Viabilidad económica y financiera.	- Inversión inicial - Ahorro anual proyectado (con GLP/Leña). - Periodo de recuperación de la inversión en años	Evaluación de la viabilidad económica del proyecto en función de su capacidad para generar beneficios que compensen la inversión inicial, mediante el análisis del periodo de recuperación, considerando el ahorro en el uso de combustibles convencionales (GLP y leña).	Evaluación financiera que relaciona la inversión inicial del prototipo con los ahorros anuales estimados por la disminución en el uso de combustibles como GLP y leña, utilizando el periodo de recuperación como indicador de viabilidad económica.	Hoja de cálculo financiera con: - Inversión inicial - Cálculo de ahorro anual basado en la producción de biogás ,tarifas de GLP y precio de leña. - Periodo de recuperación.

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .

En el presente capítulo se exponen y analizan los resultados obtenidos a partir del desarrollo de la investigación, en estricta correspondencia con los objetivos específicos planteados. Inicialmente, se presentan los parámetros de diseño derivados del análisis bibliográfico. Posteriormente, se justifica la selección del tipo de biodigestor y los materiales de construcción, para luego definir los protocolos de operación, seguridad y mantenimiento del sistema. Seguidamente, se estima la producción teórica de biogás y el ahorro económico asociado para una familia costarricense. Finalmente, se desarrolla la evaluación financiera mediante los indicadores VAN y TIR, determinando así la viabilidad económica del prototipo propuesto.

### Identificación de parámetros de Diseño

#### **Temperatura**

La temperatura es uno de los parámetros más importantes e influyentes en la digestión anaerobia, ya que este determina la velocidad de crecimiento de los microorganismos y, por ende, la tasa de producción de biogás. Para el diseño del prototipo domestico en Costa Rica, se ha seleccionado el rango mesófilo, el cual comprende el rango de temperaturas mínimas  $\approx 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rango optimo  $35^{\circ}\text{C}$ - $37^{\circ}\text{C}$ , máximo  $\approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este rango mesófilo se seleccionó conforme a las siguientes razones técnicas y prácticas.

#### **Adaptación a las condiciones climáticas locales**

Costa Rica por su ubicación tropical, presenta temperaturas ambientes promedio que oscilan entre los  $22^{\circ}\text{C}$  y  $2^{\circ}\text{C}$  en la mayoría de las regiones. Aunque estas se encuentren en el límite inferior del rango mesófilo, estas son significativamente altas a comparación de climas templados. Esto permitiendo que, con adecuado aislamiento del reactor, la temperatura del sustrato pueda mantenerse estable dentro de los rangos mesófilo, especialmente en horas con mayor radiación. Operar en este rango es factible ya que no se tiene que recurrir a sistemas de calefacción externa lo que reduce costos y simplifica el diseño del biodigestor.

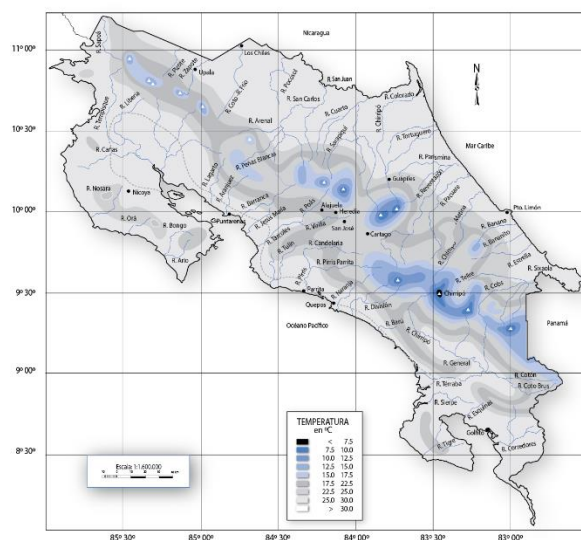


Ilustración 19. Mapa de distribución de temperaturas en Costa Rica

Fuente. (Gabarain, 2023)

### Equilibrio entre eficiencia y estabilidad del proceso

El rango mesófilo ofrece un balance óptimo entre la velocidad de degradación de la materia orgánica y la estabilidad microbiana, en comparación con los otros rangos como el psicrófilo el proceso es mucho más lento este es menos eficiente, el tiempo de retención es muy alto, el rango termófilo en donde su rango temperatura óptimo comprende alrededor de los 50°C-60°C este permite una tasa de producción de biogás mayor en menos tiempo de retención y una mayor destrucción de patógenos, el problema es que es mucho más costoso de mantener por su alta temperatura ya que necesita calentadores externo para poder lograr su temperatura óptima de operación, este también es mucho más susceptible a desequilibrios por cambios bruscos de temperatura o acumulación de ácidos, otra ventaja del rango mesófilo es que no se necesita un volumen de reactor tan grande a comparación del rango psicrófilo para poder generar la misma cantidad de biogás, por lo que este rango es la mejor selección.

### **Correspondencia con la literatura técnica y antecedentes**

Conforme la revisión de diferentes estudios como antecedentes se reporta el uso de este mismo rango para biodigestores de tamaños similares, en donde destacan que la mayoría de los biodigestores de pequeña y mediana escala operan exitosamente en este rango, ya que alberga una gran diversidad de microorganismos metanogénicos eficientes.

### **Impacto en el dimensionamiento**

Operar en el rango mesófilo implica un tiempo de retención hidráulica alrededor de 30 a 60 días. La elección de otro tipo de rango implicaría un reactor de mucha más capacidad, en donde busco un volumen de reactor razonable para un hogar.

### **pH**

El pH es uno de los parámetros de mayor influencia en la estabilidad y eficiencia de la digestión anaerobia, ya que condiciona directamente la actividad de los microorganismos responsables de las distintas etapas del proceso. Para este diseño del prototipo domestico se ha establecido un rango optimo de 6.5 a 7.5, basado en las siguientes consideraciones técnicas.

### **Sensibilidad de la metanogénesis**

La etapa de la metanogénesis, responsable de la generación de metano en el biogás, es la más sensible a las variaciones de pH. Los microorganismos metanogénicos presentan su máxima actividad en un rango cercano a la neutralidad, por lo que es fundamental mantener el pH dentro de valores óptimos. Cuando el pH desciende por debajo de estos niveles, se produce una disminución drástica en la actividad microbiana, pudiendo incluso detenerse casi por completo. Esto puede llevar al colapso del sistema, ya que el medio se vuelve excesivamente ácido, afectando la viabilidad de los microorganismos e impidiendo la producción adecuada de metano.

### **Equilibrio entre las fases del proceso**

Durante la acidogénesis se generan ácidos orgánicos que tienden a reducir el pH. En un sistema en donde existe el equilibrio, los metanógenos consumen estos ácidos a una velocidad suficiente para evitar una acidificación excesiva. Operando dentro del rango de 6.5-7.5 permite que coexistan las poblaciones de bacterias ácido génicas y metanogénicas mantenimiento un equilibrio sin que ninguna de ellas predomine de forma perjudicial en el proceso.

## Prevención de fallos operativos

Los desequilibrios de pH son una de las causas más comunes del fallo en los biodigestores de pequeña escala. En literatura nacional revisada destaca que condiciones inadecuadas de diseño y operación incluido un mal control del pH, contribuyen a la baja operatividad de muchas instalaciones de biodigestores en Costa Rica. Establecer un rango claro de pH y proponer mecanismos sencillos para estar monitoreando constantemente y asegurarse que su rango se encuentre dentro del recomendado es vital para lograr esto sin invertir mucho dinero se puede lograr fácilmente mediante el uso de tiras reactivas de pH para estar monitoreando constantemente el biodigestor recomendablemente 2 veces por semana en caso de encontrarlo fuera de los rangos se le agrega bicarbonato de sodio u cal para estabilizarlo. (Muñiz, 2023) indica que:

El papel indicador es un tipo de papel tratado con compuestos químicos que cambian de color en respuesta al pH de una solución. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia, y puede variar en una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro, valores menores indican acidez y valores mayores indican alcalinidad.

El papel funciona gracias a los indicadores de pH, que son compuestos químicos sensibles a los cambios en la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) en una solución. Estos indicadores cambian de color en respuesta a cambios en el pH de la solución.

Cuando el papel pH se sumerge en una solución, los indicadores químicos presentes en el papel reaccionan con los iones de hidrógeno presentes en la solución. Dependiendo del nivel de acidez o alcalinidad de la solución, los indicadores cambian de forma y absorben diferentes longitudes de onda de luz, lo que resulta en un cambio de color visible en el papel.



*Ilustración 20. Tiras reactivas de pH*

*Fuente. (Gluu, s.f.)*

## Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Parámetro muy importante de dimensionamiento más críticos en un diseño de un biodigestor, ya que define el volumen necesario del reactor y relacionado directamente con la eficiencia de degradación de la materia orgánica y producción de biogás.

### **Relación con la temperatura de operación**

Como se definió previamente, el prototipo operara en el rango mesófilo (30°C –40 °C). En este rango según investigaciones el tiempo de retención hidráulica se sitúa entre los 30 y 60 días. En un tiempo menor a los 30 días podría no ser suficiente tiempo para completar la degradación de los compuestos orgánicos más complejos, y un tiempo mayor a los 60 días incrementaría innecesariamente el volumen del reactor sin mejoras significativas en la producción del metano.

### **Caracterización de los residuos domésticos**

Los residuos de cocina presentan una composición heterogénea que incluye carbohidratos, proteínas y lípidos. Cada componente tiene un tiempo de degradación diferente. Elegir esta cantidad de días de retención hidráulica permite que incluso componentes de degradación más lenta como lo son las grasas y fibras sean metabolizadas por la comunidad microbiana, esto maximizando la producción de biogás y la estabilidad del proceso.

### **Equilibrio entre volumen y producción de biogás**

Un TRH mayor permitiría una mayor conversión de materia orgánica en metano, pero también provocaría la elección de un biodigestor de mayor volumen. Para el prototipo de uso doméstico, se busca un equilibrio que permita trabajar con un biodigestor de tamaño proporcional al espacio disponible que pueda haber en un hogar costarricense.

### **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

Este parámetro influye directamente en el crecimiento y actividad metabólica de los microorganismos responsables de la producción del biogás. El carbono constituye la principal fuente de energía para estos microorganismos, en cuanto al nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas. En donde se determina mediante revisión de bibliografía que la relación óptima se encuentra dentro del rango de 20:1 y 30:1 ideal para garantizar condiciones estables de operación, esta relación siendo esencial para entender que tipos de residuos suministrar al biodigestor para mantener su correcto equilibrio y máxima eficiencia

### **Relación con la actividad microbiológica**

La digestión anaerobia depende del equilibrio nutricional de los microorganismos, los cuales requieren carbono como fuente de energía y nitrógeno para la síntesis de proteínas y crecimiento celular. Una relación de carbono y nitrógeno permite mantener una actividad microbiológica estable, valores fuera de este rango afectan el metabolismo bacteriano, reduciendo la eficiencia del proceso de producción de biogás

### **Caracterización de residuos domésticos**

Los residuos comunes del hogar, principalmente restos de comida suelen presentar una baja relación de C/N debido a su alto contenido de nitrógeno, en especial materiales ricos en proteínas. Esta condición puede provocar la formación de amoníaco durante la digestión, generando efectores inhibidores sobre los microorganismos. Por esta razón es importante considerar la variabilidad de estos residuos y procurar un balance adecuado mediante la incorporación de materiales con mayor contenido de carbono, como residuos materiales más fibrosos

### **Prevención de inhibición del proceso**

Una relación C/N baja favorece la acumulación de amoníaco, lo cual puede elevar el pH y generar condiciones tóxicas para las bacterias metanogénicas. Por otro lado, una relación C/N muy alta limita la disponibilidad de nitrógeno, ralentizando la degradación de la materia orgánica, mantenerse dentro del rango adecuado permite evitar estos problemas asegurando estabilidad del proceso y producción continua de biogás.

### **Aplicabilidad en el diseño del prototipo**

Considerar la relación C/N en el diseño permite definir ciertas estrategias de alimentación y operación más eficientes, sin requerir equipos adicionales o procesos complejos. Esto contemplando que es un diseño domestico en Costa Rica, donde se busca que sea un sistema funcional, de bajo costo y fácil manejo, adaptado a condiciones reales de generación de residuos en el hogar.

### **Relación C/N de residuos de cocina**

<b>Residuo</b>	<b>Relación aproximada</b>	<b>C/N</b>	<b>Tipo</b>
Restos de Fruta	20:1 – 35:1		Balanceado
Restos de verduras	15:1 – 25:1		Balanceado
Cáscaras	25:1		Balanceado
Residuos de arroz	30:1		Balanceado
Pan	20:1		Balanceado
Brosas de café	20:1		Balanceado
Restos de carne	10:1 – 15:1		Bajo en C (alto N)
Residuos de cocina mixtos	15:1 – 20:1		Bajo en C
Hojas verdes (lechuga, etc.)	15:1 – 25:1		Balanceado
Restos de pescado	5:1 – 10:1		Muy alto en N
Bolsas de te	25:1		Balanceado
Nata de leche (grasas)	40:1 – 60:1		Alto en C

*Tabla 1. Relación C/N de residuos de cocina*

*Fuente. Elaboración propia*

Se interpreta:

- Balanceados (20-30): Ideales no requieren ajuste
- Altos en Nitrógeno (<20): pueden generar amoníaco
- Altos en Carbono (>30): Ayudan a equilibrar

### **Contenido de sólidos**

Un contenido adecuado de sólidos totales permite un equilibrio entre la cantidad de sustrato y la fluidez de la mezcla. Según la literatura, el rango óptimo de operación en biodigestores domésticos se encuentra entre 8% y 12% de sólidos totales, lo que garantiza condiciones adecuadas para la actividad microbiana y la producción de biogás.

### **Relación con la actividad microbiológica**

El contenido de sólidos afecta la disponibilidad de nutrientes y el contacto entre los microorganismos y el sustrato. Un exceso de sólidos dificulta la movilidad de las bacterias y la transferencia de masa, mientras que un contenido muy bajo reduce la concentración de materia orgánica, afectando la producción.

### **Caracterización de residuos domésticos**

Los residuos de cocina presentan un alto contenido de humedad, lo que implica bajos porcentajes de sólidos totales. Sin embargo, la incorporación de algunos residuos más secos puede aumentar la concentración de sólidos en la mezcla. Por esta razón, es necesario ajustar la proporción de agua y residuos para lograr la consistencia adecuada que favorezca el proceso de digestión.

**Facilidad de operación del sistema**

Un contenido de sólidos adecuado permite una mejor mezcla del sustrato, esto evita la formación de capas. Obstrucciones o sedimentación dentro del biodigestor. En sistemas domésticos, en donde no es necesario sistemas de agitación, mantener una mezcla homogénea facilita la operación y reduce problemas mecánicos.

**Equilibrio entre dilución y eficiencia**

Un contenido de sólidos muy bajo implica una alta dilución del sustrato, lo que reduce la eficiencia del biodigestor al disminuir la carga orgánica. Por otro lado, un contenido muy alto genera mezclas demasiado viscosas dificultando el proceso.

### Contenido de sólidos en residuos de cocina

<b>Residuo</b>	<b>Porcentaje de solidos totales</b>	<b>Clasificación</b>
Restos de Fruta	10-20%	Bajo
Restos de verduras	5-15%	Bajo
Cáscaras	15-30%	Medio
Residuos de arroz	30-40%	Medio
Pan	35-45%	Medio
Brosas de café	20-30%	Medio
Restos de carne	25-35%	Medio
Residuos de cocina mixtos	15-30%	Medio
Hojas verdes (lechuga, etc.)	10-20%	Medio
Restos de pescado	20-35%	Medio
Bolsas de te	16-25%	Medio
Nata de leche (grasas)	40-60%	Alto en C

*Tabla 2. Contenido de sólidos en residuos de cocina*

*Fuente. Elaboración propia, 2026*

Se interpreta:

-Bajo (<15%): Muy húmedo, puede diluir demasiado el biodigestor

-Medio (15–40%): Ideal para mezclar, buen equilibrio

-Alto (>40%): Muy seco, necesita agua

<b>Tipo de residuo</b>	<b>Producción estimada(m<sup>3</sup>/kg)</b>	<b>Observaciones</b>
Frutas y verduras	0,30–0,35	Alta biodegradabilidad
Cereales, pan, arroz	0,25–0,30	Buen rendimiento
Restos de carne/pescado	0,35–0,40	Mayor gas, riesgo de olores
Grasas y aceites	0,40–0,50	Alta producción, pero desestabiliza si es excesivo
Cáscaras duras (plátano, cítricos)	0,15–0,20	Baja producción, lenta degradación

*Tabla 3. Comparativa de rendimiento de biogás por tipo de residuo de cocina*

*Fuente. Elaboración propia, 2026*

### **Carga orgánica**

Representa la cantidad de materia orgánica que se alimenta al biodigestor por unidad de volumen y tiempo. Este parámetro influye directamente en la actividad microbiana y en la producción de biogás. Según la literatura, en biodigestores domésticos se recomienda trabajar con cargas orgánicas bajas a moderadas, típicamente en el rango de 1 a 3 kg de sólidos volátiles por m<sup>3</sup>·día, con el fin de garantizar condiciones estables de operación.

### **Relación con la actividad microbiológica**

La carga orgánica determina la cantidad de sustrato disponible para los microorganismos. Una carga adecuada permite mantener una población bacteriana activa y estable, sin embargo, una sobrecarga puede generar acumulación de ácidos grasos volátiles, disminución del pH e inhibición del proceso mientras que una baja carga orgánica limita la producción de biogás.

### **Caracterización de residuos domésticos**

En un biodigestor doméstico, la carga orgánica depende de la cantidad y tipo de residuos generados diariamente en el hogar. Estos residuos suelen ser variables en composición y cantidad, lo que puede generar fluctuaciones en la alimentación del sistema. Por esta razón, es recomendable mantener una alimentación constante y controlada para evitar cambios bruscos en la carga orgánica.

### **Relación con la generación de residuos en Costa Rica**

Tomando en cuenta estudios realizados en Costa Rica como censos hay un promedio de 2.83 personas por hogar (INEC, 2025), la generación de residuos sólidos domiciliarios se encuentra aproximadamente en 1,1 Kg por habitante por día asimismo se ha determinado que entre un 58%-60% de estos residuos corresponde a materia orgánica biodegradable (Salud, 2016), esta apta para su tratamiento mediante digestión anaerobia.

<b>Composición de los residuos (Nivel Nacional)</b>	
<b>Tipo de residuo</b>	<b>Composición</b>
Orgánico	58%
Papel / cartón	21%
Plásticos	11%
Metales	2%
Vidrio	1%
No Valorizables	7%

*Ilustración 21. Porcentaje de composición de residuos en Costa Rica*

*Fuente. (Salud, 2016)*

Año	Toneladas/año	Habitantes	Ton/hab/año	Kg/hab/día
2011	139 928	288 054	0,486	1,33
2012	145 499	293 330	0,496	1,36
2013	145 800	298 687	0,488	1,34
2014	140 859	304 126	0,463	1,27
2015	140 147	309 647	0,453	1,24
2016	150 834	315 254	0,478	1,31
2017	156 461	320 946	0,487	1,34
2018	156 633	326 725	0,479	1,31
2019	152 198	332 593	0,458	1,25
2020	141 883	338 552	0,419	1,15
2021	138 976	344 604	0,403	1,1
2022	135 522	352 381	0,385	1,05
2023	137 096	371 819	0,369	1,01

*Ilustración 22. Producción per cápita por día de residuos en Costa Rica*

*Fuente. (Jose, 2025)*

Considerando que en Costa Rica el tamaño promedio del hogar es cercano a 2,8 personas dato estadístico, en valor representativo y práctico para el diseño se estará tomando 3 personas, se puede estimar una generación diaria aproximada de residuos orgánicos suficiente para alimentar un biodigestor doméstico de pequeña escala. Estos datos permiten establecer una base realista para definir la carga orgánica del sistema, adaptándola a las condiciones típicas de un hogar costarricense.

Tipo de residuo	Producción estimada(m <sup>3</sup> /kg)	Observaciones
Frutas y verduras	0,30–0,35	Alta biodegradabilidad
Cereales, pan, arroz	0,25–0,30	Buen rendimiento
Restos de carne/pescado	0,35–0,40	Mayor gas, riesgo de olores
Grasas y aceites	0,40–0,50	Alta producción, pero desestabiliza si es excesivo
Cáscaras duras (plátano, cítricos)	0,15–0,20	Baja producción, lenta degradación

Tabla 4. Comparativa de rendimiento de biogás por tipo de residuo de cocina

Fuente. Elaboración propia, 2026

Ecuación 3. Cálculo de generación de residuos orgánicos por hogar

Generación de residuos sólidos por hogar

= Generación per capita x Personas por hogar

Generación per cápita:  $1,1 \frac{kg}{persona \times día}$

Porcentaje orgánico: 58%-60%

Personas por hogar(diseño): 3 Personas

Generación de residuos sólidos por hogar:  $1,1 \times 3 = 3,3 \frac{kg}{persona \times día}$

## Ecuación 4. Cálculo Fracción orgánica

*Fracción orgánica*

= Generación de residuos sólidos por hogar x Porcentaje orgánico

Caso mínimo (58%)

$$3,3 \times 0,58 = 1,91 \frac{kg}{día}$$

Caso máximo (60%)

$$3,3 \times 0,60 = 1,98 \frac{kg}{día}$$

Significando así que un hogar costarricense de 3 personas puede producir en promedio de residuos orgánicos biodegradables  $1,91-1,8 \frac{kg}{día}$

Número de personas	Residuos totales (kg/día)	Fracción orgánica (%)	Residuos orgánicos (kg/día)
1	1,1	58-60%	0,64 – 0,66
2	2,2	58-60%	1,28 – 1,32
3	3,3	58-60%	1,91 – 1,98
4	4,4	58-60%	2,55 – 2,64
5	5,5	58-60%	3,19 – 3,30
6	6,6	58-60%	3,83 – 3,96

Tabla 5. Generación de residuos según número de miembros del hogar

Fuente. Elaboración propia, 2026

### **Prevención de sobrecarga del sistema**

Una carga orgánica excesiva puede superar la capacidad de degradación de los microorganismos causando acumulación de compuestos intermedios como ácidos grasos, lo que conduce a acidificación del sistema y la disminución de la producción de biogás. Mantener la carga dentro de un rango adecuado permite evitar estos problemas asegurar la estabilidad del biodigestor.

### **Relación sólidos-líquido y preparación del sustrato**

Importante de tomar en cuenta que para la mejor eficiencia de un biodigestor doméstico depende en gran medida de la adecuada relación entre sólidos y líquidos en el sustrato. Un exceso de sólidos puede dificultar la mezcla, reducir la biodisponibilidad de nutrientes y limitar el contacto de las bacterias metanogénicas con la materia orgánica. Por otro lado, un exceso de líquidos puede diluir la concentración de sólidos volátiles, disminuyendo la producción de biogás. Por ello, mantener una proporción equilibrada asegura condiciones óptimas para la digestión anaerobia, favoreciendo tanto la generación de metano como la estabilidad del proceso.

### **Relación de mezcla agua : residuos**

Dado que los residuos orgánicos de cocina presentan un contenido de sólidos que varía según su composición es importante agregar agua conforme se introducen los residuos orgánicos al biodigestor, se recomiendan las siguientes relaciones:

**Relación 1:1 (1Kg de residuo+1L de agua):** Apropriada cuando los residuos tienen alta humedad como restos de frutas, verduras, cascaras o cuando se incorporan residuos de baja relación C/N como lo son restos de carne o pescado.

**Relación 1:2 (1Kg de residuo+2L de agua):** Recomendada cuando predominan residuos secos o con mayor contenido de sólidos, como restos de arroz, pan, cascaras duras o materiales con mucha fibra. Una mayor dilución facilita la fluidez y previene obstrucciones en sistemas sin agitación mecánica.

### **Efecto de picado en residuos**

El tamaño de los residuos orgánicos es de gran importancia que frecuentemente no se realiza en biodigestores domésticos. Recomendación fundamentada conforme al estudio en la tesis (Vera, 2022) donde recomienda picar los residuos para obtener un mejor aprovechamiento tanto en la eficiencia del biodigestor como en el biol que genera como abono

Entre los beneficios del picado de los residuos:

**Incremento del área superficial de contacto:** Al reducir el tamaño, se aumenta el área expuesta a la acción de las enzimas hidrolíticas secretadas por las bacterias acelerando así el proceso de hidrolisis y reduce el tiempo necesario para que los compuestos orgánicos complejos se convierten en moléculas más asimilables por los microorganismos ácido génicos.

**Uniformidad en la mezcla:** Los residuos se integran de manera más homogénea con el agua de dilución evitando la formación de capas flotantes de material seco o la sedimentación de partículas densas dentro del biodigestor.

**Prevención de obstrucciones:** Reduce el riesgo de que partículas de gran tamaño obstruyan el tubo de carga o el de descarga, facilitando la operación diaria y reduciendo las necesidades de mantenimiento correctivo.

**Mejora la velocidad de degradación:** Al facilitar el acceso a los nutrientes, el picado contribuye a una mayor tasa de conversión de materia orgánica en biogás, por decirlo así se vuelve más eficiente el proceso ya que se aprovecha mucho mejor el tiempo de retención de los residuos dentro del reactor.

**Recomendación práctica.** Se recomienda realizar el picado con cuchillo de los residuos orgánicos en trozos de no más de 1-3cm antes de mezclarlo con agua.

## Selección del tipo de biodigestor y materiales de construcción

Una vez definidos los parámetros fundamentales en tomar en cuenta para la operación del biodigestor, se procede a seleccionar la configuración del biodigestor y los materiales que mejor se adaptan al contexto domestico costarricense tomando en cuenta la seguridad, criterios técnicos, espacio disponible, tipo de residuos que se vayan a utilizar.

Tomando en cuenta factores como:

Disponibilidad de espacio en viviendas

Cantidad de residuos generados (familia promedio 3–5 personas)

Facilidad de construcción

Costo de implementación

Facilidad de operación y mantenimiento

Estabilidad en la producción de biogás

Seguridad del sistema

Selección del tipo de biodigestor según su forma de alimentación

La decisión del régimen de alimentación es determinante para la funcionalidad, estabilidad y aceptación de un biodigestor doméstico. Para evaluar las opciones, se realiza un análisis comparativo de los tres tipos principales discontinuo, semicontinuo y continuo.

<b>Criterio</b>	<b>Discontinuo</b>	<b>Semi- Continuo</b>	<b>Continuo</b>
Modo de operación	Carga única de sustrato esta se cierra hasta finalizar digestión TRH completo luego se vacía y recarga.	Alimentación periódica con pequeñas cantidades extracción simultánea de digestato.	Alimentación y extracción constante, mediante bombeo o flujo continuo.
Producción de biogás	Intermitente: pico en fase media, luego decae.	Relativamente estable, con pequeños picos post alimentación. Permite uso directo con un almacenamiento moderado	Muy estable y constante, ideal para aplicaciones que requieren suministro ininterrumpido.
Relación con TRH	TRH fijo por ciclo. Se requiere un volumen de reactor grande para mantener producción mientras se espera la descarga.	TRH constante si se extrae el mismo volumen que se alimenta. Permite dimensionar el reactor acorde a la carga diaria.	TRH constante, pero depende de un flujo de entrada continuo y uniforme.

<p>Adaptación con residuos domésticos</p>	<p>Requiere almacenar residuos hasta tener suficiente para una carga completa, lo que puede generar malos olores y atraer mosquitos, moscas entre otros animales</p>	<p>Ideal: permite incorporar residuos tal como se generan diariamente, sin almacenamiento prolongado</p>	<p>Requiere homogeneización y bombeo constante, no factible con residuos sólidos de cocina sin pretratamiento.</p>
<p>Estabilidad del proceso</p>	<p>Mayor riesgo de acidificación inicial por alta carga orgánica súbita</p>	<p>Alimentación gradual minimiza choques de carga orgánica, favoreciendo estabilidad microbiológica.</p>	<p>Requiere control preciso de flujo y composición; cambios bruscos pueden desestabilizar el sistema.</p>
<p>Complejidad en operación y mantenimiento</p>	<p>Baja: solo cargar y esperar. Pero requiere vaciado total periódico (cada 30-60 días), con manejo de grandes volúmenes de digestato de una vez.</p>	<p>Moderada: alimentación frecuente pero simple; purga parcial periódica (cada 1-2 semanas) de digestato. Fácil de realizar por usuario sin conocimientos técnicos.</p>	<p>Alta: requiere bombas, medidores de flujo, sistema de control. Mantenimiento especializado.</p>

Costo de implementación	Bajo	Bajo a moderado	Alto
Aplicabilidad en contexto domestico costarricense	Posible, pero menos práctica por necesidad de acumular residuos y manejo intermitente de lodos.	Óptima: se ajusta a la generación diaria de residuos ( $\approx 2$ kg/día), permite uso continuo de biogás para cocción y facilita mantenimiento regular.	Inviabile por costo, complejidad y falta de infraestructura de bombeo en hogares.

Tabla 6. Comparación de regímenes de alimentación para biodigestor doméstico

Fuente. Elaboración propia, 2026

Se selecciona un biodigestor semicontinuo específicamente de cúpula fija, porque se adapta mejor a la generación diaria de residuos orgánicos en un hogar, permitiendo una alimentación periódica sin necesidad de almacenar grandes cantidades de desechos. Además, ofrece una producción de biogás más estable que un sistema discontinuo, lo cual favorece su aprovechamiento doméstico. Frente al biodigestor continuo, resulta más conveniente porque no requiere equipos de bombeo ni un control técnico complejo, lo que reduce costos y facilita su construcción, operación y mantenimiento. Por estas razones, el sistema semicontinuo responde mejor a los objetivos del proyecto, al ser una alternativa más viable, segura, práctica y adecuada para el contexto doméstico costarricense.

### Consideraciones a la hora de diseño

(CFIA, 2017) indica que:

Para la construcción del biodigestor doméstico propuesto se deben considerar una serie de buenas prácticas de diseño e instalación, con el fin de garantizar un funcionamiento seguro, estable

y acorde con criterios técnicos. En primer lugar, el sistema de tuberías para conducción de biogás debe dimensionarse de manera que pueda suplir adecuadamente la demanda máxima de los equipos conectados, evitando pérdidas excesivas de presión y restricciones innecesarias. En este sentido, la selección de tubería de 1/2 pulgada se justifica porque corresponde a un diámetro ampliamente disponible en el mercado, compatible con válvulas, reguladores y accesorios comerciales para gas, y suficiente para un sistema doméstico de baja demanda como el planteado en este proyecto. Además, brinda una instalación más robusta y segura que diámetros menores, especialmente en un montaje exterior expuesto a manipulación, vibración y mantenimiento.

Respecto a la instalación de la línea de gas, todas las tuberías, válvulas y accesorios deben ser aptos y certificados para uso con gas; las juntas roscadas deben ejecutarse con material sellante aprobado para gas y colocado únicamente en la rosca macho. Asimismo, las tuberías expuestas deben instalarse a una altura mínima de 15 cm sobre el piso o estructura, para reducir el riesgo de golpes, humedad y deterioro prematuro.

En cuanto al soporte mecánico de la tubería, el sistema debe quedar firmemente fijado mediante riel strut y gazas o abrazaderas metálicas apropiadas. El código exige que las tuberías de gas estén adecuadamente apoyadas sobre soportes y establece espaciamientos máximos en la Tabla 11.1. Para efectos prácticos del presente diseño, se adopta una separación de 1,8 m entre gazas en los tramos horizontales, criterio conservador que facilita la construcción y mantiene una adecuada rigidez del tendido. En tramos verticales, se mantiene al menos un soporte por nivel o tramo estructural equivalente. También debe cuidarse que el material del soporte no favorezca corrosión galvánica.

Sobre la presión de trabajo, debe entenderse que el diámetro de la tubería no define por sí solo la presión máxima del sistema. En un sistema de gas doméstico, la presión de operación depende del esquema de regulación adoptado, por lo que el empleo de un regulador de doble etapa al ser un sistema de baja presión resulta adecuado para reducir la presión y estabilizar la entrega del biogás hacia el punto de consumo.

Dentro de una edificación la presión máxima de trabajo no debe superar 34 kPa (5 psi) salvo condiciones especiales. En consecuencia, en este proyecto la tubería de 1/2 pulgada se selecciona no por soportar una presión mayor, sino por su conveniencia hidráulica, compatibilidad comercial y mayor seguridad constructiva dentro de un sistema de baja presión regulada.

La válvula de corte deberá ubicarse cerca del equipo que alimenta, debiendo estar a una distancia máxima de noventa centímetros (0,9 m) del equipo; además, deberá ubicarse en el mismo cuarto en que se encuentra el equipo y ser fácilmente accesible.

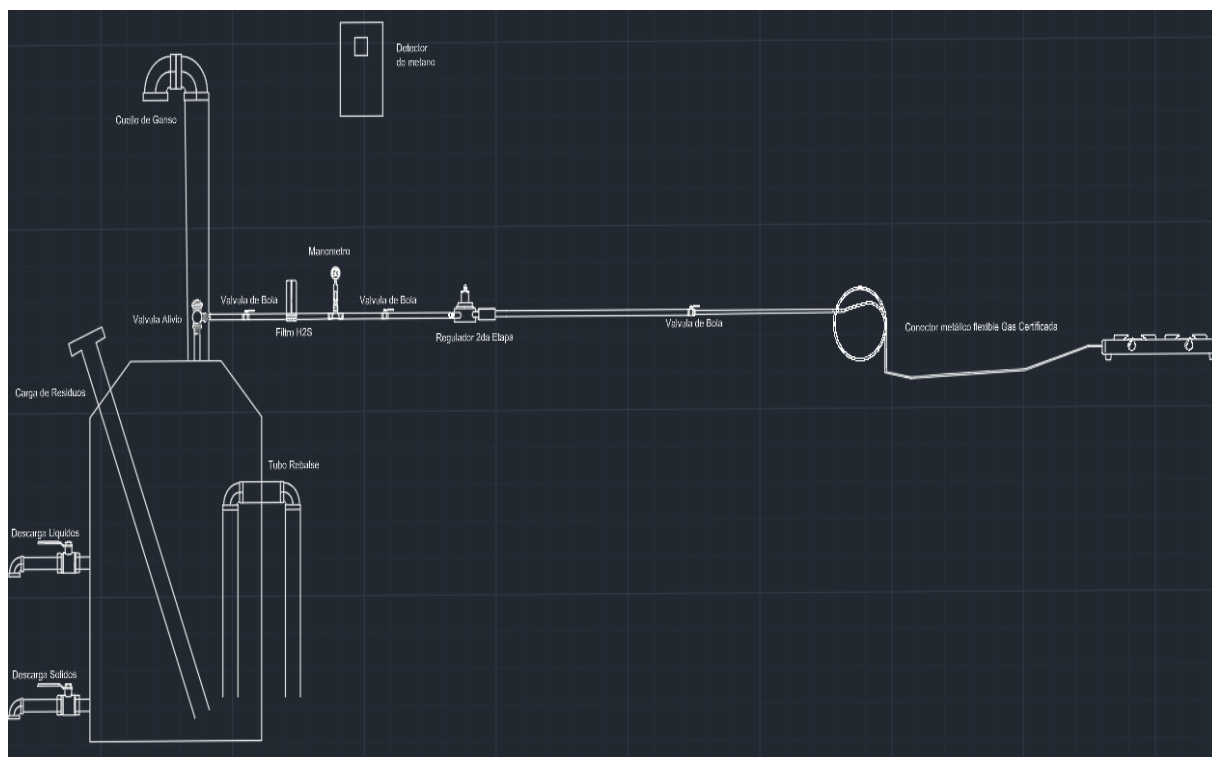
Tomando en cuenta la altura del tanque 1.31m el cuello de ganso debe de ir a mas altura del techo para que el biogás en caso de una sobrepresión y la válvula de alivio abra se disperse en el aire y no se confine en alguna zona.

La descarga de sólidos debe colocarse lo más próxima posible al fondo del biodigestor, con el fin de facilitar la evacuación de lodos sedimentados durante las labores de mantenimiento

La descarga de líquidos debe de estar a una distancia superior de la descarga de solidos alrededor de la mitad del tanque.

Tubo de rebalse debe de poseer un sello hidráulico para que no se escape el biogás la tubería debe de ser tipo U para que quede sellado con los mismos residuos.

Boca de carga de residuos se recomienda que el extremo inferior de la tubería de carga quede sumergido aproximadamente entre 10 y 15 cm por debajo del nivel normal de operación del biodigestor, ya que esta disposición ayuda a reducir la entrada de oxígeno al reactor y dificulta la fuga de biogás por la línea de alimentación, importante este debe de tener una tapa cuando no se le ingresen residuos para evitar el ingreso de animales, basura y oxígeno.



*Ilustración 23. Diseño de Biodigestor*

*Fuente. Elaboración propia, 2026*

### **Consideraciones a la hora de instalación**

Tomando como punto de referencia el suelo:

- El tubo de descarga de sólidos se ubicó en la parte lateral del tanque, a una altura aproximada de 0.12 m medida desde el fondo interno del biodigestor hasta el eje del tubo.
- El tubo de descarga de líquidos se ubicó en la parte lateral del tanque, a una altura aproximada de 0,70 m medida desde el fondo interno del biodigestor hasta el eje del tubo.

- El tubo de rebalse se ubicó en la parte lateral del tanque, a una altura aproximada de 0,85 m medida desde el fondo interno del biodigestor hasta el eje del tubo
- El cuello de ganso donde se instala la válvula de alivio debe ubicarse a una altura superior al nivel del techo de la vivienda. Esta disposición se considera como una medida de seguridad, ya que, en caso de apertura de la válvula por exceso de presión, el biogás liberado se descargará en una zona elevada y ventilada, reduciendo el riesgo de acumulación en áreas bajas, cerradas o próximas a fuentes de ignición
- Detector de metano instalado en zona ventilada, próximo a las conexiones principales de la línea de biogás y ubicado por encima de los posibles puntos de fuga, considerando que el metano es más liviano que el aire.
- De la tabla 6.2A NFPA 54 versión 2009 la distancia máxima 300 m, y del regulador al dispositivo que se va a alimentar 1,8 m.
- Válvula de corte inicial debe de estar lo más cerca posible de la salida del biodigestor para poder manipularla y darle mantenimiento.

Según (Association, 2021)

- Los recipientes se ubican alejados 3 m como mínimo de materiales combustibles almacenados.
- Los recipientes de gas LP que se ubican a menos de 3 m de la vía pública o de estacionamientos, disponen de elementos de protección apropiados para resguardar la integridad de estos.
- El lugar donde se almacenan los recipientes de gas LP cuenta con rotulación de señalización de "Gas Inflamable", "Prohibido Fumar" y el rombo de seguridad de la NFPA 704 correspondiente a Gas LP.
- La descarga del venteo de la válvula de alivio de sobrepresión del cilindro de intercambio está separada por lo menos 0,9 m de manera horizontal de

cualquier abertura del edificio que se encuentra por debajo de la descarga de dicho dispositivo de seguridad.

- La descarga del venteo de la válvula de alivio de sobrepresión está separada por lo menos 1,5 m de cualquier fuente de ignición y entradas de aire para cualquier sistema de ventilación mecánico del edificio.
- Para los reguladores de presión instalados al exterior de los edificios o estructuras habitables, el punto de descarga del venteo o desfogue de los reguladores se ubica a mínimo 1.5 m en todas direcciones de cualquier fuente de ignición, aberturas en artefactos de ventilación directa (sistema de combustión sellado), o ductos de aire con ventilación mecánica.
- Cada una de las válvulas de corte están instaladas dentro de los 1,8 m del artefacto que alimenta.

### Materiales seleccionados

Cantidad	Producto	Precio Unitario	Precio Total	Proveedor
1	Tanque Tricapa Durman	₡87.000,00	₡87.000,00	Lagar
1	Tubo PVC 4" (Carga) 6m	₡9.630,00	₡9.630,00	Colono
1	Adaptador macho 4"	₡6.750,00	₡6.750,00	Colono
1	Adaptador hembra 4"	₡6.000,00	₡6.000,00	Novex
1	Tapa tubería 4"	₡850,00	₡850,00	EPA
1	Curva PVC 4" x 45°	₡4.995,00	₡4.995,00	EPA
1	Tubería PVC 2" 6m	₡5.400,00	₡5.400,00	Deposito Jiménez
5	Adaptador macho PVC 2"	₡1.700,00	₡8.500,00	Novex
3	Adaptador hembra PVC 2"	₡1.044,00	₡3.132,00	Novex
3	Codo PVC 2" x 90°	₡530,00	₡1.590,00	Ferconce
2	Llave de paso 2"	₡3.200,00	₡6.400,00	Venecia Ferretería
2	Tee 1/2"	₡1.490,00	₡2.980,00	EPA
1	Regulador Segunda Etapa 1/2"	₡36.000,00	₡36.000,00	Humcar Store
1	Manómetro 0-1000mbar	₡6.000,00	₡6.000,00	Alibaba
1	Válvula de alivio	₡20.000,00	₡20.000,00	Ebay
2	Adaptador macho PVC 1/2"	₡180,00	₡360,00	EPA
1	Adaptador hembra PVC 1/2"	₡290,00	₡290,00	EPA
1	Tubo hierro negro 1/2" 6m	₡8.400,00	₡8.400,00	Novex
4	Válvula de bola gas 1/2"	₡2.900,00	₡11.600,00	Carbone StoreTu
1	Unión a tope 1/2"	₡2.575,00	₡2.575,00	EPA
5	Manguera para gas 3/8"	₡1.500,00	₡7.500,00	Grupo Delgado

Tabla 7. Materiales para el diseño del biodigestor

Fuente. Elaboración propia

Cantidad	Producto	Precio Unitario	Precio Total	Proveedor
1	Teflón profesional	€3.250,00	€3.250,00	EPA
1	Sellador Poliuretano	€4.845,00	€4.845,00	Novex
1	Teflón para tuberías de gas	€7.450,00	€7.450,00	EPA
1	Pegamento para PVC 240ml	€4.095,00	€4.095,00	EPA
1	Filtro H2S	€5.170,00	€5.170,00	Alibaba
1	Codo inserto metal 1/2 CPVC	€2.750,00	€2.750,00	Venecia Ferretería
1	Acople macho para manguera gas 1/2" x 3/8"	€7.210,00	€7.210,00	Grupo Delgado
1	Riel Strut	€3.629,00	€3.629,00	Lagar
4	Gasas Riel Strut	€210,00	€840,00	EPA
Total			€275.191,00	

*Tabla 8. Continuación Materiales para el diseño del biodigestor*

*Fuente. Elaboración propia*

## Justificación del uso de estos materiales

La elección de buenos materiales y de dispositivos de seguridad es fundamental en el diseño del biodigestor doméstico, ya que de ello dependen no solo la durabilidad y hermeticidad del sistema, sino también la seguridad del usuario durante la operación. En un biodigestor que trabaja con biogás, cualquier fuga, sobrepresión o falla en las conexiones puede comprometer el funcionamiento del sistema y generar riesgos importantes, debido a que el metano es un gas inflamable y el sulfuro de hidrógeno puede resultar corrosivo y nocivo. Por esta razón, no basta con que el biodigestor produzca gas; también debe garantizar un manejo controlado, seguro y confiable.

En este proyecto, a diferencia de muchas propuestas domésticas convencionales, sí se contempla de manera expresa la inclusión de materiales adecuados y dispositivos de seguridad, tales como válvulas de aislamiento, control de presión, detección de fugas, sellado correcto de conexiones y criterios de ventilación e instalación. Esto permite que el biodigestor no solo sea técnicamente funcional, sino también más seguro, más estable y confiable para su uso en el contexto doméstico costarricense

### **Manómetro**

El manómetro se selecciona porque permite vigilar en tiempo real la presión interna del gas en la línea, lo cual es indispensable en un sistema de biogás doméstico. Su función no es solo mostrar un dato, sino permitir verificar el comportamiento del biodigestor, detectar aumentos anormales de presión, comprobar si el regulador está trabajando correctamente y facilitar la toma de decisiones antes de que se alcance una condición insegura. (Kolstad, 2024)

### **Regulador de gas**

El regulador de gas de segunda etapa se incorporó en la línea de conducción del biogás con el fin de controlar y estabilizar la presión antes de su llegada al punto de consumo. Aunque el biodigestor doméstico trabaja con presiones bajas, la producción de biogás puede presentar variaciones según la carga orgánica, temperatura, tiempo de retención, volumen disponible y

actividad microbiológica del sistema. Por esta razón, se requiere un elemento que permita reducir dichas variaciones y entregar el gas en condiciones más estables y seguras.

### **Válvula de alivio**

La válvula de alivio se incorpora como elemento esencial de protección contra sobrepresión. Su justificación técnica radica en que está diseñada para abrir automáticamente cuando la presión alcanza un valor preestablecido, liberando el exceso y evitando que el recipiente, la tubería o los accesorios trabajen por encima de un límite seguro. En otras palabras, no sustituye al regulador ni se usa para operación normal del sistema, sino como barrera final de seguridad para proteger la integridad del equipo, del usuario y del entorno. (Pustjens, 2025)

### **Cuello de ganso para descarga de biogás**

El cuello de ganso se justifica porque dirige la descarga del gas hacia arriba y al exterior, reduciendo la probabilidad de que el biogás se descargue hacia zonas ocupadas o hacia puntos cercanos al usuario. Esta configuración también ayuda a evitar la entrada de agua, insectos u otros cuerpos extraños a la línea de venteo (utilizar una malla o cedazo), algo contemplado en criterios de diseño de terminaciones de ventilación de gas. Además, como el metano es más ligero que el aire, su tendencia natural es ascender; por eso, elevar el cuello de ganso por encima de la línea de techo de una vivienda unifamiliar constituye un criterio conservador de dispersión atmosférica y refuerza la seguridad del sistema.

### **Manguera certificada para gas**

La manguera certificada se selecciona porque un gas combustible no debe conducirse mediante mangueras genéricas o improvisadas. La certificación indica que el componente fue fabricado y ensayado conforme a normas específicas para conducción de gas, resistencia mecánica y hermeticidad, elegir una manguera certificada disminuye el riesgo de escape probados contra fugas, esto para evitar incendios o accidentes.

### **Filtro de H<sub>2</sub>S.**

Se incorpora porque el sulfuro de hidrógeno es una de las impurezas más problemáticas del biogás, su presencia no solo deteriora la calidad del combustible, sino que además acelera la corrosión de componentes metálicos, puede afectar el desempeño de equipos y representa un riesgo tóxico para las personas. Por eso, la remoción de H<sub>2</sub>S antes del aprovechamiento del biogás es una medida técnica de protección del sistema y de mejora de la calidad del gas. En términos prácticos, el filtro prolonga la vida útil de accesorios como reguladores, válvulas y conexiones metálicas. (Ristevski, 2024)

### **Sellador de poliuretano.**

El sellador de poliuretano se incorpora con la finalidad de evitar fugas en el tanque, especialmente en los puntos de paso de tuberías, uniones y zonas de acople entre materiales. Su uso se justifica porque forma un sello flexible, resistente y durable, capaz de adaptarse a pequeñas deformaciones o vibraciones sin perder sus propiedades de sellador. De esta manera, contribuye a mantener la hermeticidad del biodigestor, evitando escapes de biogás y la posible entrada de agua o contaminantes externos. (Westerncanadacoatings, s.f.)

### **Pegamento para PVC.**

Se escoge porque, técnicamente, no funciona como un simple adhesivo superficial; el cemento solvente ablanda y fusiona químicamente la tubería y el accesorio, generando una unión continua y más confiable para las líneas de PVC creando un sello hermético al agua y aire. Esa es la razón por la cual se utiliza en uniones lisas de PVC, especialmente cuando se requiere resistencia. (ctube, 2024)

### **Teflón para tuberías de gas**

Es esencial para sellar conexiones roscadas, evitando fugas peligrosas de gas y previniendo la corrosión. Se distingue por ser de alta densidad, lo que le permite soportar altas presiones y temperaturas. Su uso garantiza la seguridad en instalaciones. (Kintek, 2026)

### Detector de metano

Su importancia radica en que el metano es combustible y, aunque es más ligero que el aire, puede acumularse en espacios confinados o con ventilación deficiente. Por eso, la detección temprana permite alertar de una fuga antes de que la concentración alcance condiciones peligrosas. Dado que el metano tiende a subir, las guías de instalación ubican estos detectores cerca del techo o en zonas altas. (Nevadanano, s.f.)

### Válvula de bola

Se seleccionó la válvula de bola debido a su función de control y aislamiento del flujo de biogás dentro de la instalación. Este accesorio permite la apertura y cierre rápido del paso del gas, lo cual resulta fundamental para realizar mantenimientos, inspecciones o reemplazos de componentes de manera segura, su uso incrementa la seguridad operativa del sistema, ya que posibilita interrumpir el suministro de biogás de forma inmediata ante eventuales fugas, sobrepresiones o fallas en la línea. En consecuencia, la válvula de bola constituye un elemento indispensable para el control, la seguridad y la continuidad de operación del biodigestor. (Kolstad, 2024), en este caso se colocan 2 una para controlar el flujo llegando a la hornilla y otra para cerrar el flujo ya sea para mantenimiento como el cambio del filtro, en caso de fugas cerrar el flujo total.

*Ecuación 5. Cálculo de presión abertura válvula de alivio*

$$T = \frac{P \times OD}{2SD} \text{ (solutions, s.f.)}$$

T= espesor

P= presión

OD= diámetro exterior= 97 cm

SD( $\sigma$ )= esfuerzo de diseño

Despejando la presión obtenemos que

$$P = \frac{T \times 2\sigma}{OD}$$

Tomando como referencia el material que indica el fabricante Durman para tanque tricapa: Polietileno Lineal Base 93050 buscando ese exacto material Copolímero de Polietileno Lineal de Media Densidad Grado Hexeno.

Tomando los datos de la ficha técnica y dimensiones incluida en Anexo 3 y Anexo 4

Fluencia: 2700 psi = 18.6 MPa

Ruptura: 2900 psi = 20.0 MPa

Espesor: 0.125 in= 3.175 mm

Utilizando un diámetro exterior de 97cm=97x10<sup>-2</sup>m ya que el tanque es de 750 litros

*Ecuación 6. Cálculo de presión de fluencia y ruptura.*

$$P_{\text{Fluencia}} = \frac{T \times 2(\sigma_{\text{fluencia}})}{OD}$$

$$P_{\text{Ruptura}} = \frac{T \times 2(\sigma_{\text{ruptura}})}{OD}$$

Sustituimos

$$T = 0.125 \text{ in} = 3.175 \text{ mm} = 3.175 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{fluencia}} = 2700 \text{ psi} = 18.6 \text{ MPa} = 18.6 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{ruptura}} = 2900 \text{ psi} = 20.0 \text{ MPa} = 20 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$OD = \text{diámetro exterior} = 97 \text{ cm} = 97 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$P_{\text{Fluencia}} = \frac{2(3.175 \times 10^{-3} \text{ m} \times 18.6 \times 10^6 \text{ Pa})}{97 \times 10^{-2} \text{ m}} = 121,762.89 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{Ruptura}} = \frac{2(3.175 \times 10^{-3} \text{ m} \times 20 \times 10^6 \text{ Pa})}{97 \times 10^{-2} \text{ m}} = 130,927.84 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = \frac{1}{6895} \text{ psi}$$

$$P_{\text{Fluencia}} = 121,762.89 \text{ Pa} = 17.7 \text{ psi}$$

$$P_{\text{Ruptura}} = 121,762.89 \text{ Pa} = 18.98 \text{ psi}$$

Tomando en cuenta un factor de seguridad para el diseño de la presión de la válvula de alivio

*Ecuación 7. Cálculo de Factor de seguridad y Presión de trabajo*

$$FS = \frac{\text{Resistencia de Fluencia}}{\text{Esfuerzo circunferencial}}$$

$$FS = P_{\text{fluencia}} / P_{\text{trabajo}}$$

Despejando

$$P_{\text{trabajo}} = P_{\text{fluencia}} / FS$$

El polietileno se comporta como un material dúctil. En un material dúctil hay un punto de fluencia claramente esto significa que a partir de ahí empieza la deformación permanente y el material todavía puede seguir alargándose antes de la ruptura, que eso no es lo que buscamos ni que este se deforme permanentemente de forma irreversible o mucho menos que este se rompa. Contemplando esto para un diseño seguro se usa la presión de fluencia, mejor aún todavía un esfuerzo admisible menor al de fluencia esto se calcula tomando en cuenta un Factor de seguridad.

$$\text{Resistencia de fluencia} = 2700 \text{ psi (mexicanos, 2012)}$$

$$\text{Esfuerzo Circunferencial} = 600 \text{ psi (solutions, s.f.)}$$

$$FS = \frac{2700 \text{ psi}}{600 \text{ psi}} = 4,5$$

$$P_{\text{trabajo}} = P_{\text{fluencia}} / FS$$

$$P_{\text{trabajo}} = \frac{17,7 \text{ psi}}{4,5} = 3,93 \text{ psi} \approx 4 \text{ psi}$$

## Parámetros de seguridad

La inclusión de parámetros de seguridad en el diseño del biodigestor doméstico no constituye un elemento secundario, sino un pilar fundamental para garantizar la viabilidad real del sistema en el contexto costarricense. La experiencia documentada en antecedentes nacionales e internacionales, así como la normativa técnica vigente, evidencian que las fallas más frecuentes en proyectos de biodigestión a pequeña escala no se deben a deficiencias en la producción de biogás, sino a la ausencia de criterios de seguridad claros durante la operación y el mantenimiento.

En primer lugar, la naturaleza misma del biogás mezcla en gran porcentaje de metano, gas altamente inflamable y con un amplio rango de explosividad. Impone una necesidad de controlar rigurosamente cualquier posibilidad de fuga o acumulación.

En segundo lugar, el riesgo de sobrepresión constituye una amenaza tanto para la integridad estructural del biodigestor, como lo más importante la seguridad de los usuarios. La acumulación de gas sin una vía de escape controlada puede provocar deformaciones, fisuras o incluso rupturas violentas del reactor, por lo tanto, se debe de incorporar dispositivos de seguridad para mantener la presión en rangos seguros.

En tercer lugar, estudios realizados en Costa Rica como (Corrales, 2024) revela que una importante proporción de biodigestores instalados en el país presentan condiciones inadecuadas de diseño, falta de dispositivos de seguridad, falta de mantenimiento y errores operativos que derivan en el abandono del sistema. Incorporar estos elementos aumentan la confianza del usuario y la estabilidad del proyecto a largo plazo.

### **Seguridad en la operación**

Uso de teflón tanto para las tuberías de PVC y para las de gas usando el tipo correcto para cada uno, uso de sellador de poliuretano en donde sea necesario usar pegamento para PVC esto para evitar cualquier tipo de fugas, una buena práctica sería utilizar aguas jabonosas para detectar fugas de biogás.

El biodigestor debe instalarse en un área ventilada y alejada de fuentes de ignición, tales como llamas abiertas, chispas eléctricas o equipos que puedan generar calor excesivo, debido a la naturaleza inflamable del metano. Asimismo, se recomienda ubicarlo en un espacio protegido de la acumulación de gases, evitando recintos cerrados donde pueda presentarse riesgo de explosión. Importante incluir simbología en el biodigestor en la parte del frente advirtiendo que hay que tener precaución no fumar, utilizar fuentes de ignición que puedan ser un riesgo.



*Ilustración 24. Señalización Tanque*

*Fuente. Serior.com*

Importante incluir filtros básicos para la remoción de sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ). gas toxico y corrosivo que puede afectar tanto la salud como la durabilidad de los dispositivos

En cuanto operación diaria, se debe mantener un control adecuado de la carga orgánica evitando sobrealimentar el biodigestor, revisar el pH constantemente, temperatura para mantener las condiciones aptas para la generación de biogás.

En cuanto al espacio se debe de instalar en un lugar ventilado evitando la radiación directa del sol, recomendable un perímetro libre de 1m para su fácil mantenimiento para extracción del sustrato, cargarlo, al menos debe de estar a 3m de fuentes de ignición.

Es recomendable capacitar a los usuarios sobre el funcionamiento del sistema, el reconocimiento de riesgos, acciones a tomar en caso de emergencia como cierre de válvulas o ventilación del área en caso de fugas y evitar encender dispositivos que puedan iniciar un fuego.

## Plan de mantenimiento para el biodigestor

Este plan tiene como objetivo garantizar el funcionamiento seguro, eficiente y prolongado del biodigestor, así como la calidad del biogás producido. Se divide en tareas diarias, semanales, mensuales, semestrales y anuales.

Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable
Alimentación controlada	Agregar la mezcla diaria de residuos orgánicos picados con agua en proporción 1:1 o 1:2 según la humedad de los residuos. No sobrepasar la carga orgánica estimada	Diaria	Usuario
Revisión visual de fugas	Observar si hay olores a gas, burbujeo inusual o manchas húmedas en conexiones y tuberías	Diaria	Usuario
Verificación de llama	Al encender la estufa, observar que la llama sea de color azul estable (buena calidad). Si es amarilla o naranja, puede haber exceso de H <sub>2</sub> S o baja calidad de gas.	Diaria	Usuario

Tabla 9. Mantenimiento diaria biodigestor

Fuente. Soto, 2026.

Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable
Revisión de presión	Verificar la lectura del manómetro (debe estar entre y psi aproximadamente, según el diseño). Una presión muy baja puede indicar fugas o baja producción; una presión muy alta puede indicar obstrucción en la salida de gas.	Semanal	Usuario
Pruebas de fugas con agua jabonosa	Aplicar agua con jabón en conexiones, válvulas y sellos. Si se forman burbujas, hay fuga. Reparar con teflón o sellador según correspondiente	Semanal	Usuario
Medición de pH	Tomar una muestra del biol y medir pH con tiras reactivas. Debe estar entre 6.5 y 7.5. Si está por debajo, agregar bicarbonato de sodio en pequeñas cantidades	2 veces por semana	Usuario

Tabla 10. Mantenimiento semanal biodigestor

Fuente. Soto, 2026.

Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable
Purga de lodos( extracción de digestato	Abrir la válvula de descarga de 2" para extraer el lodo digerido. Realizar con guantes, botas y tapabocas. El material debe ser espeso y negro. Una vez extraído, cerrar la válvula.	Mensual (o según nivel del reactor)	Usuario
Desinfección del digestato extraído	Mezclar el lodo extraído con cal en proporción 10:1 (10 kg. de lodo por 1 kg. de cal). Revolver bien y dejar secar al menos 1 mes antes de usarlo como mejorador de suelo (no usar en hortalizas).	Mensual (post extracción)	Usuario

*Tabla 11. Mantenimiento mensual biodigestor*

*Fuente. Soto, 2026.*

Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable
Sustitución del filtro de H <sub>2</sub> S	Reemplazar el material filtrante del filtro de sulfuro de hidrógeno (virutas de hierro, óxido de hierro o carbón activado). Esto evita corrosión en la estufa y mejora la calidad del gas.	Cada 6 meses	Usuario
Revisión de válvulas y conexiones	Inspeccionar el estado de las válvulas de paso, la válvula de seguridad (si se incluye) y los conectores. Reemplazar en caso de presentar desgaste o fugas.	Cada 6 meses	Usuario
Limpieza del manómetro y alarma de gas	Verificar que el manómetro funcione correctamente y que la alarma de gas esté operativa. Limpiar con un paño seco y revisar baterías si corresponde.	Cada 6 meses	Usuario

Tabla 12. Mantenimiento semestral biodigestor

Fuente. Soto, 2026.

Actividad	Descripción	Frecuencia	Responsable
Inspección estructural del reactor	Revisar que el estañón plástico no tenga grietas, deformaciones o fugas. Verificar la integridad de las tuberías y sellos de PVC.	Anual	Usuario
Limpieza general del sistema	Si es necesario, vaciar completamente el biodigestor para limpieza profunda del estañón, tuberías, llaves	Anual	Usuario
Revisión de la manguera de gas	Inspeccionar la manguera reforzada para gas en busca de grietas, endurecimiento o fugas. Reemplazar si se detecta daño.	Anual	Usuario

*Tabla 13. Mantenimiento anual biodigestor*

*Fuente. Soto, 2026.*

Importante utilizar todas las medidas de seguridad para proteger nuestra integridad y tener a mano materiales para mantenimientos

Guantes de hule, botas de seguridad, tapabocas o mascarilla.

Tiras reactivas de pH.

Agua jabonosa para detección de fugas.

Cal para desinfección de lodos o en caso de que este el pH muy ácido

Material filtrante para H<sub>2</sub>S o todo el filtro

Teflón profesional y sellador de poliuretano.

## Funcionamiento y procedimiento de operación del biodigestor

El biodigestor propuesto en esta investigación trabaja bajo un régimen de alimentación semicontinuo, debido a que esta modalidad es la que mejor se adapta al contexto doméstico costarricense. Su principal ventaja es que permite incorporar los residuos orgánicos conforme se generan en el hogar, sin necesidad de almacenarlos por largos periodos, lo cual reduce malos olores, facilita la operación y favorece la estabilidad del proceso biológico. En este tipo de sistema, la alimentación se realiza en pequeñas cantidades y de manera periódica, mientras que la descarga del material digerido también se efectúa de forma parcial y controlada. Además, para este diseño se adopta un tiempo de retención hidráulica de 60 días, con el fin de maximizar la degradación de la materia orgánica y asegurar una operación estable dentro del rango mesófilo.

El procedimiento de trabajo inicia con la preparación de la mezcla de alimentación, la cual está compuesta por residuos orgánicos biodegradables y agua. Una vez introducida esta mezcla al reactor y cerrado herméticamente el sistema, comienza el proceso de digestión anaerobia, en el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Como resultado de este proceso se obtienen dos productos principales: el biogás, que constituye la fracción energética del sistema, y el digestato, que corresponde al material residual estabilizado y con potencial de aprovechamiento como fertilizante.

Es importante señalar que, aunque desde la etapa inicial puede comenzar a generarse gas, el biogás no debe utilizarse de inmediato. Durante la puesta en marcha del biodigestor, la primera generación de gas debe ser ventilada a la atmósfera, ya que puede contener cantidades importantes de oxígeno, lo cual, al mezclarse con metano, representa un riesgo de inflamabilidad. Por esta razón, el aprovechamiento del biogás debe iniciarse únicamente cuando el sistema ya se ha estabilizado y el gas producido presente una composición adecuada para su combustión. De acuerdo con los antecedentes analizados en esta investigación, una referencia razonable indica que la máxima generación puede presentarse alrededor de los días 13 a 14, con contenidos de metano entre 59,2 % y 62,1 %, por lo que ese periodo sirve como orientación para estimar el momento en que el biogás empieza a ser verdaderamente utilizable. No obstante, este comportamiento puede variar según el tipo de residuo, la temperatura, el pH y la estabilidad general del sistema

Una vez superada la etapa de arranque, el biodigestor entra en una fase de operación más estable. En esta condición, cada nueva carga de residuos desplaza progresivamente parte del material que ya ha permanecido suficiente tiempo dentro del reactor. Por ello, en un biodigestor semicontinuo el cumplimiento del tiempo de retención no significa que al finalizar los 60 días se deba vaciar completamente el tanque, sino que el material va saliendo de forma gradual conforme ingresan nuevas cargas. Esto permite mantener una producción relativamente estable de biogás, con pequeños incrementos posteriores a cada alimentación, y a la vez facilita el uso continuo del sistema en aplicaciones domésticas como la cocción de alimentos.

En síntesis, el funcionamiento del biodigestor diseñado se basa en una lógica simple pero eficiente: los residuos orgánicos del hogar se introducen de manera periódica, permanecen dentro del reactor durante el tiempo necesario para su degradación, se transforman biológicamente en biogás y digestato, y finalmente estos productos son aprovechados como energía renovable y fertilizante natural, respectivamente. De esta manera, el sistema no solo permite reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados a disposición final, sino también generar un beneficio energético y agronómico a escala doméstica.

## Memoria de Calculo

*Ecuación 8. Cálculo de generación de residuos orgánicos por hogar*

*Generacion de residuos solidos por hogar*

*= Generacion per capita x Personas por hogar*

Generación per cápita:  $1,1 \frac{kg}{persona \times dia}$

Porcentaje orgánico: 58%-60%

Personas por hogar(diseño): 3 Personas

$1,1 \times 3 = 3,3 \text{ Kg/día}$

*Ecuación 9. Calculo Fracción orgánica*

*Fraccion organica*

*= Generacion de residuos solidos por hogar x Porcentaje organico*

Caso mínimo (58%)

$3,3 \times 0,58 = 1,91 \frac{kg}{persona \times dia}$

Caso máximo (60%)

$3,3 \times 0,60 = 1,98 \frac{kg}{persona \times dia}$

Significando así que un hogar costarricense de 3 personas puede producir en promedio de residuos orgánicos biodegradables  $1,91-1,98 \frac{kg}{dia}$

Número de personas	Residuos totales(kg/día)	Fracción orgánica (%)	Residuos orgánicos (Kg/día)
1	1,1	58-60%	0,64 – 0,66
2	2,2	58-60%	1,28 – 1,32
3	3,3	58-60%	1,91 – 1,98
4	4,4	58-60%	2,55 – 2,64
5	5,5	58-60%	3,19 – 3,30

Tabla 14. Generación de residuos según número de miembros del hogar

Fuente. Soto, 2026.

Ecuación 10. Cálculo volumen de biodigestor

$$V= Q*TRH$$

$$\text{Volumen}=\text{m}^3$$

$$\text{Caudal}(Q)=\frac{\text{m}^3}{\text{días}}$$

TRH= 60 días Se adopta un TRH de 60 días para maximizar la degradación de materia orgánica y asegurar estabilidad operativa dentro del rango mesófilo (30-60 días)

Aproximamos la densidad del agua  $\approx 1000\text{kg}/\text{m}^3$   $1\text{kg}\approx 1\text{litr}$

<b>3 personas</b>		
Residuos kg/día	1,98	
Agua kg /día	3,96	
Total L/día	5,94	
TRH días	60	30-60
Volumen biodigestor	356,4	litros
Volumen biodigestor	0,3564	m3
<b>4 personas</b>		
Residuos kg/día	2,64	
Agua kg /día	5,28	
Total L/día	7,92	
TRH días	60	30-60
Volumen biodigestor	475,2	litros
Volumen biodigestor	0,4752	m3
<b>5 personas</b>		
Residuos kg/día	3,3	
Agua kg /día	6,6	
Total L/día	9,9	
TRH días	60	30-60
Volumen biodigestor	594	litros
Volumen biodigestor	0,594	m3

Tabla 15. Cálculo volumen biodigestor según integrantes de familia y tiempo de retención

Fuente. Soto, 2026.

Aunque los residuos orgánicos presentan densidades variables, al mezclarse con agua forman una suspensión homogénea, cuya densidad se aproxima a la del agua ( $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$ ). Por esta razón, en el dimensionamiento de biodigestores domésticos se adopta la equivalencia  $1 \text{ kg} \approx 1 \text{ L}$ , simplificando la conversión de masa a volumen.

Importante: La selección de un biodigestor de 750 L se justifica técnicamente a partir de los cálculos de generación de residuos orgánicos realizados para un hogar costarricense promedio. En la memoria de cálculo se estimó que un hogar de 3 personas produce aproximadamente 1,91 a 1,98 kg/día de residuos orgánicos biodegradables, partiendo de una generación per cápita de 1,1 kg/persona día y de una fracción orgánica del 58 % al 60 %. Además, para efectos de dimensionamiento se adoptó la equivalencia  $1 \text{ kg} \approx 1 \text{ L}$ , así como un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 60 días contemplando el mesofílico, con el fin de maximizar la degradación de la materia orgánica y mantener la estabilidad operativa del sistema.

Bajo ese criterio, si se considera una preparación del sustrato con una relación conservadora de 1:2 (1 kg de residuo + 2 L de agua), recomendada cuando predominan residuos con mayor contenido de sólidos o materiales más secos, el caudal diario de alimentación para un hogar de 3 personas sería de aproximadamente 5,73 a 5,94 L/día. Al aplicar la ecuación de dimensionamiento  $V = Q \times \text{TRH}$ , el volumen útil requerido estaría en el orden de 343,8 a 356,4 L. Sin embargo, diseñar el biodigestor únicamente con el volumen mínimo calculado reduciría el margen de seguridad operacional y aumentaría el riesgo de sobrecarga, situación que puede provocar acumulación de ácidos, disminución del pH y caída en la producción de biogás.

Por esta razón, se opta por un biodigestor de 750 L, ya que este volumen no solo cubre holgadamente la demanda calculada para un hogar promedio, sino que también proporciona una reserva operativa para escenarios en los que las personas deseen o tengan la posibilidad de depositar una mayor cantidad de residuos orgánicos. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en hogares con más integrantes, en días de mayor generación de residuos de cocina o cuando se quiera aprovechar una mayor proporción de desechos biodegradables dentro del hogar. En ese sentido, la capacidad de 750 L permite trabajar de manera más flexible, estable y segura, sin llevar el sistema a su límite de operación.

Incluso, los mismos cálculos muestran que un hogar de 5 personas podría generar aproximadamente 3,19 a 3,30 kg/día de residuos orgánicos. Si se aplica la misma relación de

mezcla 1:2, el caudal de alimentación sería de 9,57 a 9,90 L/día, lo que requeriría un volumen útil de aproximadamente 574,2 a 594 L con un TRH de 60 días. En este caso, el biodigestor de 750 L sigue siendo una alternativa adecuada, porque absorbe ese incremento de carga y conserva un margen razonable para la acumulación de gas y la operación segura del sistema. Así, la elección de esta capacidad responde no solo a la condición promedio calculada, sino también a un criterio de proyección, flexibilidad y prevención de sobrecarga, lo cual fortalece la viabilidad técnica del diseño propuesto

Considerando que los residuos de comida en hogares suelen tener

Para calcular la producción de biogás es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales (%ST) y el porcentaje de sólidos volátiles del desecho (%SV); donde, los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105°C, mientras que los sólidos volátiles se definen como la porción de los sólidos totales que son volatilizados a 550°C [Olaya 2006]

Según (Moreno, 2011) afirma que:

S.T. (Sólidos Totales): Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso.

$$S.T = (8\% - 12\%) * Q$$

Tipo	%ST	Residuos( kg/día)	ST (kg/día)	Personas
ST	8%	5,94	0,4752	3
ST	8%	7,92	0,6363	4
ST	8%	9,9	0,792	5
ST	12%	5,94	0,7128	3
ST	12%	7,92	0,9504	4
ST	12%	9,9	1,188	5

Tabla 16. Cálculo de sólidos totales generados

Fuente. Soto, 2026.

Personas	ST promedio (kg/día)
3	0,594
4	0,792
5	0,990

Tabla 17. Cálculo de sólidos totales promedios generados

Fuente. Soto, 2026.

Según (Arias, 2018) afirma que,

S.V. (Sólidos Volátiles): Residuos de cocina doméstica la fracción volátil suele presentar entre 75-85% de sólidos totales, lo que confirma su alta biodegradabilidad y potencial de producción de biogás.

$$S.V = (75\% - 85\%) * ST$$

Tipo	%SV	ST (kg/día)	SV (kg/día)	Personas
SV	75%	0,4752	0,3564	3
SV	75%	0,6363	0,4752	4
SV	75%	0,792	0,594	5
SV	85%	0,7128	0,60588	3
SV	85%	0,9504	0,80784	4
SV	85%	1,188	1,0098	5

Tabla 18. Cálculo de sólidos volátiles generados

Fuente. Soto, 2026.

Personas	SV promedio (kg/día)
3	0,48114
4	0,64152
5	0,8019

Tabla 19. Cálculo de sólidos volátiles promedios generados

Fuente. Soto, 2026.

Según (Moreno, 2011) indica

Porcentaje Reducción de sólidos volátiles: La degradación de SV puede estimarse utilizando la siguiente ecuación empírica (Metcalf y Eddy, 2003):  $V_d = 13,7 \ln(\text{TRS}) + 18,9$

Donde Vd es la degradación de sólidos volátiles (%) y TRS es el tiempo de retención de sólidos (días)

$$Vd = 13,7 \ln(60) + 18,9 = 74,99 \approx 75\%$$

Ese 75% de degradación de sólidos volátiles (Vd) significa que, bajo un tiempo de retención de sólidos (TRS) de 60 días, el biodigestor logra transformar aproximadamente tres cuartas partes de la materia orgánica biodegradable en productos de la digestión anaerobia principalmente biogás y digestato estabilizado.

$$SV \text{ degradados} = SV \text{ promedio} \times \text{Porcentaje de degradación de sólidos volátiles}$$

Personas	SV promedio (kg/día)	SV degradado (kg/día)
3	0,48114	$0,48114 \times 0,75 = 0,360855$
4	0,64152	$0,64152 \times 0,75 = 0,48114$
5	0,8019	$0,8019 \times 0,75 = 0,601425$

Tabla 20. Cálculo de SV degradados por día

Fuente. Soto, 2026.

Personas	SV degradado (kg/día)	Biogás (m <sup>3</sup> /día)
3	0,360855	$0,360855 \times 0,7 = 0,253$
4	0,48114	$0,48114 \times 0,7 = 0,337$
5	0,601425	$0,601425 \times 0,7 = 0,421$

*Tabla 21. Biogás generado*

*Figura. Soto, 2026.*

Personas	Biogás (m <sup>3</sup> /día)	Metano CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /día)
3	0,253	$0,253 \times 0,6 = 0,1516$
4	0,337	$0,337 \times 0,6 = 0,2021$
5	0,421	$0,421 \times 0,6 = 0,256$

*Tabla 22 Metano generado*

*Fuente. Soto, 2026.*

Se toma el 60% como promedio, fundamentado en dato brindado por (ICE, s.f.) en donde indican que el porcentaje de metano presente en el biogás ronda entre (50%-70%)

Una cocina utilizando biogás consume alrededor 150-300 l/ h de biogás (nations, 1996)

Calculando un 60% de metano 90-180L de CH<sub>4</sub>

Utilizando 135 realizando un promedio de consumo en hornillas

*Ecuación 11. Cálculo de tiempo promedio en hornilla con biogás*

Horas de hornilla= Metano producido por día (l)/ Consumo de metano (l/h)

Horas de hornilla=  $(0,1516 \text{ m}^3 * 1000 \text{ l/m}^3) / 135 \text{ l/h} = 1,12 \text{ hrs}$  ( 3 personas)

Horas de hornilla=  $(0,2021 \text{ m}^3 * 1000 \text{ l/m}^3) / 135 \text{ l/h} = 1,49 \text{ hrs}$  ( 4 personas)

Horas de hornilla=  $(0,256 \text{ m}^3 * 1000 \text{ l/m}^3) / 135 \text{ l/h} = 1,896 \text{ hrs}$  ( 5 personas)

Personas	Horas decimales	Tiempo real
3	1,12h	1h 7 min
4	1,49h	1h 29 min
5	1,90h	1 h 54 min

*Tabla 23. Duración de tiempo de cocina con biogás*

*Fuente. Soto, 2026.*

Donde un

Poder calorífico:

(RECOPE, 2021) PCGas LP = 48,00 MJ/kg = 13,33 kWh/kg

(Moreno, 2011) Biogás (60% metano) = 21 a 23 MJ/m<sup>3</sup> = 6,0 a 6,5 kWh/m<sup>3</sup>

(Amit Garg, 2006) Leña seca (20% humedad) = 14,7 a 18 MJ/kg = 4,1 a 5,0 kWh/kg

*Ecuación 12. Cálculo Poder Calorífico Promedio*

$$\text{Biogás} = 6,25 \text{ kWh/m}^3$$

$$\text{Gas LP} = 13,33 \text{ kWh/kg}$$

$$\text{Leña seca (20\% humedad)} = 4,50 \text{ kWh/kg}$$

*Ecuación 13. Cálculo de Energía Generado tomando de promedio 30 días del mes*

$$E_{\text{mes biogás}} = V_{\text{biogás/día}} \times 365 \text{ días/12 meses} \times \text{PCI biogás}$$

$$E_{\text{mes biogás}} = 0,253 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días/12 meses} \times 6,25 \text{ kWh/m}^3 = 48,06 \text{ kWh/mes} \quad 3 \text{ personas}$$

$$E_{\text{mes biogás}} = 0,337 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días/12 meses} \times 6,25 \text{ kWh/m}^3 = 64,07 \text{ kWh/mes} \quad 4 \text{ personas}$$

$$E_{\text{mes biogás}} = 0,421 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días/12 meses} \times 6,25 \text{ kWh/m}^3 = 80,03 \text{ kWh/mes} \quad 5 \text{ personas}$$

**Comparación con Gas LP**

Para este análisis comparativo se utiliza como referencia dato brindado por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) en donde indican que el cilindro de 25 libras (11,34kg) es el estándar para uso doméstico y predomina el mercado. Y utilizando como promedio de duración del tanque 1 mes

$$E_{\text{Cilindro}} = 11,34 \text{ kg/mes} \times 13,33 \text{ kWh/kg} = 151,16 \text{ kWh/mes}$$

*Ecuación 14. Cálculo Porcentaje ahorro del cilindro:*

$$\% \text{Ahorro} = (E_{\text{mes biogás}} / E_{\text{Cilindro}}) \times 100$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{48,06 \text{ kWh/mes}}{151,16 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 31,79\% \quad 3 \text{ personas}$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{64,07 \text{ kWh/mes}}{151,16 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 42,39\% \quad 4 \text{ personas}$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{80,03 \text{ kWh/mes}}{151,16 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 52,94\% \quad 5 \text{ personas}$$

Agente Tipo de envase	Envasador		Distribuidor		Comercializador	
	Precio mínimo	Precio máximo	Precio mínimo	Precio máximo	Precio mínimo	Precio máximo
TANQUES FIJOS (por litro)	177,42	185,21				
CILINDRO DE 4,54 kg (10 lb)	1.517,00	1.584,00	2.037,00	2.105,00	2.626,00	2.704,00
CILINDRO DE 9,07 kg (20 lb)	3.031,00	3.164,00	4.070,00	4.205,00	5.245,00	5.401,00
CILINDRO DE 11,34 kg (25 lb)	3.790,00	3.956,00	5.088,00	5.257,00	6.559,00	6.753,00
CILINDRO DE 15,88 kg (35 lb)	5.307,00	5.540,00	7.125,00	7.362,00	9.184,00	9.456,00
CILINDRO DE 18,14 kg (40 lb)	6.063,00	6.329,00	8.140,00	8.410,00	10.491,00	10.802,00
CILINDRO DE 20,41 kg (45 lb)	6.822,00	7.121,00	9.158,00	9.462,00	11.804,00	12.154,00
CILINDRO DE 27,22 kg (60 lb)	9.098,00	9.497,00	12.213,00	12.619,00	15.742,00	16.209,00
CILINDRO DE 45,36 kg (100 lb)	15.161,00	15.826,00	20.353,00	21.029,00	26.233,00	27.011,00

Ilustración 25. Tarifas Vigentes Gas Licuado de Petróleo (GLP)

Fuente. (ARESEP, 2026)

Ecuación 15. Cálculo costo unitario de energía (¢ por kWh)

Utilizando como referencia la tarifa de (ARESEP, 2026) de comercialización del cilindro de 25lb como promedio= ¢ 6656

$$\text{Costo}_{\text{kWh}} = \frac{\text{Precio cilindro}}{\text{ECilindro}} = \frac{6656\text{¢/mes}}{151,16\text{kWh/mes}} = 44,033 \text{ ¢/kWh}$$

Ecuación 16. Cálculo de Ahorro económico mensual por uso de biogás

$$\text{Ahorro}_{\text{mensual}} = 48,06 \text{ kWh/mes} \times 44,033 \text{ ¢/kWh} = 2116,23 \text{ ¢/mes} \quad 3 \text{ personas}$$

$$\text{Ahorro}_{\text{mensual}} = 64,07 \text{ kWh/mes} \times 44,033 \text{ ¢/kWh} = 2821,19 \text{ ¢/mes} \quad 4 \text{ personas}$$

$$\text{Ahorro}_{\text{mensual}} = 80,03 \text{ kWh/mes} \times 44,033 \text{ ¢/kWh} = 3524,40 \text{ ¢/mes} \quad 5 \text{ personas}$$

Ecuación 17. Cálculo de Ahorro económico anual por uso de biogás

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = 2116,23 \text{ ¢/mes} \times 12\text{mes/año} = 25.394,76 \text{ ¢/año} \quad 3 \text{ personas}$$

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = 2821,19 \text{ ¢/mes} \times 12\text{mes/año} = 33.854,28 \text{ ¢/año} \quad 4 \text{ personas}$$

$$\text{Ahorro}_{\text{anual}} = 3524,40 \text{ ¢/mes} \times 12\text{mes/año} = 42.292,8 \text{ ¢/año} \quad 5 \text{ personas}$$

*Ecuación 18. Cálculo Biogás en comparación con Leña*

De acuerdo con (Duran, 2024) en Costa Rica se consume en promedio diario de leña en hogares donde usan leña es de 6,8kg por día o 204 kg al mes.

$$E_{\text{mes biogás}} = 48,06 \text{ kWh/mes} \quad 3 \text{ personas}$$

$$E_{\text{mes biogás}} = 64,07 \text{ kWh/mes} \quad 4 \text{ personas}$$

$$E_{\text{mes biogás}} = 80,03 \text{ kWh/mes} \quad 5 \text{ personas}$$

$$E_{\text{mes leña}} = 204\text{kg/mes} \times 4,50 \text{ kWh/kg} = 918 \text{ kWh/mes}$$

*Ecuación 19. Cálculo Porcentaje de ahorro en leña*

$$\% \text{Ahorro} = (E_{\text{mes biogás}} / E_{\text{mes leña}}) \times 100$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{48,06 \text{ kWh/mes}}{918 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 5,24\% \quad 3 \text{ personas}$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{64,07 \text{ kWh/mes}}{918 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 7\% \quad 4 \text{ personas}$$

$$\% \text{Ahorro} = \left( \frac{80,03 \text{ kWh/mes}}{918 \text{ kWh/mes}} \right) \times 100 = 8,72\% \quad 5 \text{ personas}$$

Precio leña 10kg ¢5395

Precio por kg= 5395/10= 539,5 ¢/kg

Ahorro diario=  $6,8 \text{ kg/días} \times 539,5 \text{ ¢/kg} \times 5,24\% = 192,234 \text{ ¢/día}$     3 personas

Ahorro diario=  $6,8 \text{ kg/días} \times 539,5 \text{ ¢/kg} \times 7\% = 256,802 \text{ ¢/día}$     4 personas

Ahorro diario=  $6,8 \text{ kg/días} \times 539,5 \text{ ¢/kg} \times 8,72\% = 319,9 \text{ ¢/día}$     5 personas

Ahorro anual=  $192,234 \text{ ¢/día} \times 30 \text{ días/mes} \times 12 \text{ mes/año} = \text{¢}69.204,24 \text{ ¢/año}$     3 personas

Ahorro anual=  $256,802 \text{ ¢/día} \times 30 \text{ días/mes} \times 12 \text{ mes/año} = \text{¢}92.448,72 \text{ ¢/año}$     4 personas

Ahorro anual=  $319,9 \text{ ¢/día} \times 30 \text{ días/mes} \times 12 \text{ mes/año} = \text{¢}115.164 \text{ ¢/año}$     5 personas

### Análisis Económico

Los cálculos de ahorro comparados con leña y gas LP no deben interpretarse como una sustitución total de estas fuentes energéticas, sino como una estimación del aporte energético complementario que podría brindar el biodigestor dentro del hogar. En este sentido, el biogás generado no necesariamente reemplaza por completo el uso de combustibles convencionales, pero sí puede contribuir a reducir parcialmente su consumo, lo que representa un beneficio económico gradual para la vivienda.

De esta manera, el análisis financiero no se limita a mostrar cuánto se podría ahorrar anualmente, sino que permite establecer si el biodigestor constituye una inversión económicamente justificable bajo condiciones reales de uso doméstico. Así, el VAN mostrará si los beneficios futuros del sistema superan la inversión inicial; la TIR permitirá estimar la rentabilidad del proyecto; y el periodo de recuperación indicará en cuánto tiempo los ahorros acumulados, derivados de la disminución en el uso de leña o GLP, permitirán recuperar el monto invertido. En consecuencia, estos indicadores son indispensables para sustentar con mayor solidez la viabilidad económica del biodigestor doméstico

## Cálculos Económicos

*Ecuación 20. Cálculo Período de recuperación de la Inversión (PRI) = Inversión inicial / Ahorro anual con GLP y leña*

### Con GLP

$$3 \text{ personas: } \frac{275000}{25394,76}: 10,83 \text{ años} \quad (10 \text{ años, } 9 \text{ meses y } 29 \text{ días})$$

$$4 \text{ personas: } \frac{275000}{33854,28}: 8,12 \text{ años} \quad (8 \text{ años, } 1 \text{ mes y } 13 \text{ días})$$

$$5 \text{ personas: } \frac{275000}{42292,8}: 6,50 \text{ años} \quad (6 \text{ años, } 6 \text{ meses})$$

### Con Leña

$$3 \text{ personas: } \frac{275000}{69204,24}: 3,97 \text{ años} \quad (3 \text{ años, } 11 \text{ meses y } 19 \text{ días})$$

$$4 \text{ personas: } \frac{275000}{92448,72}: 2,975 \text{ años} \quad (2 \text{ años, } 11 \text{ meses y } 21 \text{ días})$$

$$4 \text{ personas: } \frac{275000}{115164}: 2,388 \text{ años} \quad (2 \text{ años, } 4 \text{ meses y } 20 \text{ días})$$

Se adoptó una tasa de descuento del 10% para la evaluación financiera del proyecto, al considerarse un valor conservador y frecuentemente utilizado en estudios de factibilidad de proyectos energéticos cuando no se dispone de una tasa específica del inversionista. Este supuesto permite valorar de manera prudente los flujos futuros del proyecto (Short, 1995).

Para biodigestores domésticos de pequeña escala hechos con materiales accesibles y de bajo costo, la literatura técnica ubica la durabilidad en un rango que hace razonable tomar 10 años como supuesto conservador (Agency, s.f.).

## Evaluación VAN y TIR con GLP

Períodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	0	0	0	-275000	1	-275000,00
1	0	25394,76	-8000	17394,76	0,909	15813,42
2	0	25394,76	-8000	17394,76	0,826	14375,83
3	0	25394,76	-8000	17394,76	0,751	13068,94
4	0	25394,76	-8000	17394,76	0,683	11880,86
5	0	25394,76	-8000	17394,76	0,621	10800,78
6	0	25394,76	-8000	17394,76	0,564	9818,89
7	0	25394,76	-8000	17394,76	0,513	8926,26
8	0	25394,76	-8000	17394,76	0,467	8114,78
9	0	25394,76	-8000	17394,76	0,424	7377,08
10	0	25394,76	-8000	17394,76	0,386	6706,43
					VAN	-168116,73
					VAN formula Excel	-168116,73
					TIR	-8%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 24. Cálculo VAN y TIR GLP 3 personas

Fuente. Soto, 2026.

Periodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	0 - \$275000	0	0	-\$275000	1	-\$275000,00
1	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,909	\$23503,89
2	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,826	\$21367,17
3	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,751	\$19424,70
4	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,683	\$17658,82
5	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,621	\$16053,47
6	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,564	\$14594,07
7	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,513	\$13267,33
8	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,467	\$12061,21
9	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,424	\$10964,74
10	0	\$33854,28	-\$8000	\$25854,28	0,386	\$9967,94
					VAN	-\$116136,64
					VAN formula Excel	-\$116136,64
					TIR	-1%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 25. Calculo VAN y TIR GLP 4 personas

Fuente. Soto, 2026.

Periodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	-¢275000	0	0	-¢275000	1	-¢275000,00
1	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,909	¢31175,27
2	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,826	¢28341,16
3	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,751	¢25764,69
4	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,683	¢23422,44
5	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,621	¢21293,13
6	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,564	¢19357,39
7	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,513	¢17597,63
8	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,467	¢15997,84
9	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,424	¢14543,49
10	0	¢42292,8	-¢8000	¢34292,8	0,386	¢13221,36
					VAN	-¢64285,59
					VAN formula Excel	-¢64285,59
					TIR	4%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 26. Cálculo VAN y TIR GLP 5 personas

Fuente. Soto, 2026

## Evaluación VAN y TIR con Leña

Periodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	0 - \$275000	0	0	- \$275000	1	- \$275000,00
1	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,909	\$55640,22
2	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,826	\$50582,02
3	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,751	\$45983,65
4	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,683	\$41803,32
5	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,621	\$38003,02
6	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,564	\$34548,20
7	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,513	\$31407,45
8	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,467	\$28552,23
9	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,424	\$25956,57
10	0	\$69204,24	-\$8000	\$61204,24	0,386	\$23596,88
					VAN	\$101073,56
					VAN formula Excel	\$101073,56
					TIR	18%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 27. Cálculo VAN y TIR Leña 3 personas

Fuente. Soto, 2026

Periodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	0	0	0	-0	1	-0,00
1	0	0,72	-0,00	0,72	0,909	0,66
2	0	0,72	-0,00	0,72	0,826	0,59
3	0	0,72	-0,00	0,72	0,751	0,54
4	0	0,72	-0,00	0,72	0,683	0,49
5	0	0,72	-0,00	0,72	0,621	0,45
6	0	0,72	-0,00	0,72	0,564	0,41
7	0	0,72	-0,00	0,72	0,513	0,37
8	0	0,72	-0,00	0,72	0,467	0,34
9	0	0,72	-0,00	0,72	0,424	0,31
10	0	0,72	-0,00	0,72	0,386	0,28
					VAN	0,83
					VAN formula Excel	0,83
					TIR	28%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 28. Cálculo VAN y TIR Leña 4 personas

Fuente. Soto, 2026.

Periodos (Años)	Inversión inicial	Ahorros anuales	Mantenimiento	Flujo Neto de caja	Factor descuento (10%)	Flujo descontado de caja
0	-275000	0	0	-275000	1	-275000,00
1	0	115164	-8000	107164	0,909	97421,82
2	0	115164	-8000	107164	0,826	88565,29
3	0	115164	-8000	107164	0,751	80513,90
4	0	115164	-8000	107164	0,683	73194,45
5	0	115164	-8000	107164	0,621	66540,41
6	0	115164	-8000	107164	0,564	60491,28
7	0	115164	-8000	107164	0,513	54992,08
8	0	115164	-8000	107164	0,467	49992,80
9	0	115164	-8000	107164	0,424	45448,00
10	0	115164	-8000	107164	0,386	41316,36
					VAN	383476,39
					VAN formula Excel	383476,39
					TIR	37%
					Tasa de descuento	10%

Tabla 29. Cálculo VAN y TIR Leña 5 personas

Fuente. Soto, 2026.

Escenarios Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

Escenario	VAN con GLP	TIR con GLP	PRI con GLP	VAN con Leña	TIR con Leña	PRI con Leña
3 personas	₪168.116,73	-8%	10,83 años	₪101.073,56	18%	3,97 años
4 personas	₪126.136,64	1%	8,12 años	₪243.900,83	28%	2,975 años
5 personas	₪64.285,59	4%	6,50 años	₪383.479,39	37%	2,388 años

Tabla 30. Comparación VAN, TIR, PRI de GasLP y Leña

Fuente. Soto, 2026.

### Análisis Datos obtenidos

Los resultados obtenidos permiten realizar la evaluación financiera del biodigestor doméstico diseñado a partir del porcentaje de ahorro generado por el biogás sobre el consumo de combustibles convencionales, evidenciando diferencias importantes según el combustible de referencia y la cantidad de personas en el hogar. En el caso del análisis basado en el ahorro sobre el consumo de gas LP, el proyecto no alcanza una rentabilidad suficiente dentro del horizonte de evaluación de 10 años y con una tasa de descuento del 10%. Esto se observa en que el VAN es negativo en los tres escenarios, con valores de -₪168.116,73, -₪126.136,64 y -₪64.285,59 para hogares de 3, 4 y 5 personas, respectivamente. Asimismo, la TIR registrada es de -8%, 1% y 4%, valores inferiores a la tasa de descuento establecida, lo cual indica que el porcentaje de ahorro generado por el biogás sobre el gasto en gas LP no es suficiente para recuperar la inversión de

manera económicamente atractiva. Aunque el comportamiento mejora conforme aumenta el número de usuarios, el proyecto no llega a ser financieramente viable bajo este escenario.

Por otra parte, cuando la evaluación se realiza con base en el porcentaje de ahorro generado sobre el consumo de leña, los resultados muestran un panorama más favorable. En este caso, el VAN es positivo en todos los escenarios, con valores de ¢101.073,56, ¢243.900,83 y ¢383.479,39 para 3, 4 y 5 personas, respectivamente, lo que indica que los beneficios económicos actualizados sí superan la inversión inicial. De igual manera, la TIR alcanza 18%, 28% y 37%, superando en todos los casos la tasa de descuento del 10%, lo que confirma la rentabilidad del sistema bajo este criterio de ahorro. Además, el periodo de recuperación de la inversión (PRI) es considerablemente menor, con valores de 3,97 años, 2,975 años y 2,388 años, lo que demuestra que el porcentaje de ahorro asociado al desplazamiento parcial del uso de leña permite recuperar la inversión en un tiempo razonable.

En términos comparativos, los resultados demuestran que la viabilidad económica del biodigestor depende del porcentaje de ahorro que el biogás logra generar sobre el consumo de combustibles convencionales, así como del tamaño del hogar. Cuando dicho ahorro se compara con el gasto en gas LP, los beneficios económicos no son suficientes para hacer rentable el proyecto en el periodo analizado. En cambio, cuando el ahorro se calcula con respecto al consumo de leña, el biodigestor sí presenta indicadores financieros favorables, especialmente en los escenarios de 4 y 5 personas, donde se obtienen mayores beneficios económicos, mayores tasas de retorno y menores periodos de recuperación.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1- Se diseñó un prototipo de biodigestor doméstico utilizando materiales accesibles en Costa Rica, el cual permite el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el hogar para la producción de biogás. El diseño propuesto integra criterios técnicos orientados a la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, el adecuado control de los parámetros operativos, la seguridad del sistema y la estabilidad en su funcionamiento. En este sentido, se logró desarrollar una solución técnicamente viable, adaptada a las condiciones del contexto doméstico, que cumple con los requerimientos planteados en el objetivo general del proyecto.

2- Se identificaron los principios fundamentales de la digestión anaerobia, comprendiendo sus etapas (hidrólisis, acidogénesis, a-cetogénesis y metanogénesis) y su aplicación en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos. Asimismo, se analizaron los principales tipos de biodigestores, incluyendo los sistemas discontinuos, semicontinuos y continuos, así como sus diferentes configuraciones estructurales, lo que permitió evaluar sus ventajas y limitaciones en función del contexto doméstico.

Adicionalmente, se establecieron los parámetros de diseño necesarios para el correcto funcionamiento del biodigestor, tales como el rango de temperatura mesofílico (30–40 °C), el pH óptimo (6.5–7.5), la relación carbono/nitrógeno (20:1–30:1), el tiempo de retención hidráulica (30–60 días), el contenido de sólidos totales (8%–12%) y la carga orgánica recomendada, los cuales constituyen la base técnica para garantizar la estabilidad del proceso y la producción eficiente de biogás.

3- Se seleccionó un biodigestor semicontinuo de cúpula fija como la alternativa más adecuada para el contexto doméstico costarricense. Esta selección se fundamenta en su capacidad de adaptarse a la generación diaria de residuos orgánicos, su estabilidad en la producción de biogás y su facilidad de operación sin requerir sistemas complejos.

Asimismo, el prototipo fue diseñado utilizando los materiales listados en la Ilustración 26 correspondiente del documento, los cuales fueron seleccionados por su disponibilidad en el mercado, compatibilidad con sistemas de conducción de gas.

Para la selección del sistema y los materiales, se consideraron criterios técnicos fundamentales tales como la seguridad del sistema, el tipo y variabilidad de los residuos orgánicos, el espacio disponible en viviendas, la facilidad de construcción, el costo de implementación, así como la facilidad de operación y mantenimiento. Estos criterios permitieron definir una alternativa viable, segura y funcional para su aplicación en entornos domésticos.

4- Se definieron los parámetros de operación del biodigestor, incluyendo el protocolo de alimentación, el control del pH, la carga orgánica y el monitoreo de presión, con el fin de asegurar condiciones estables para la producción de biogás.

Asimismo, se establecieron criterios de seguridad del sistema, incorporando dispositivos como válvulas de corte, válvula de alivio, regulador de segunda etapa, manómetro, detector de metano y sellos adecuados, los cuales permiten prevenir riesgos asociados a fugas, sobrepresión y acumulación de gas inflamable.

Adicionalmente, se desarrolló un plan de mantenimiento estructurado según intervalos de tiempo (diario, semanal, mensual, semestral y anual), incluido en las tablas 7 a la 11 correspondientes del documento, el cual contempla actividades como revisión de fugas, medición de pH, purga de lodos, sustitución de filtros y verificación de componentes.

5- Se estimó la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos generados en un hogar costarricense promedio, utilizando ecuaciones de digestión anaerobia y parámetros técnicos previamente definidos.

A partir de los cálculos realizados, se determinó una producción aproximada de 0,253 m<sup>3</sup>/día, 0,337 m<sup>3</sup>/día y 0,421 m<sup>3</sup>/día de biogás para hogares de 3, 4 y 5 personas, respectivamente, lo que equivale a una generación energética de aproximadamente 48,06 kWh/mes, 64,07 kWh/mes y 80,03 kWh/mes.

Estos resultados permitieron estimar el aporte energético del biodigestor y su impacto en la reducción del consumo de combustibles convencionales, evidenciando que el sistema puede generar un ahorro energético parcial en el hogar. En este sentido, se establece que el biogás producido constituye una fuente de energía complementaria, capaz de contribuir al uso doméstico, especialmente en la cocción de alimentos.

6- Se evaluó la viabilidad económica del sistema mediante un análisis técnico-económico basado en el porcentaje de ahorro generado por el biogás sobre el consumo de combustibles convencionales, utilizando indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

A partir de los resultados obtenidos, se determinó que, en el escenario de sustitución parcial del gas LP, el proyecto no alcanza una rentabilidad suficiente dentro del horizonte de evaluación de 10 años, presentando valores de VAN negativos y TIR inferiores a la tasa de descuento del 10%. No obstante, en el escenario de sustitución parcial de leña, el biodigestor presenta resultados

económicamente favorables, con VAN positivos, TIR superiores al 10% y periodos de recuperación que oscilan entre aproximadamente 2,388 años y 3,97 años.

Estos resultados evidencian que la viabilidad económica del sistema depende directamente del tipo de combustible que se sustituya y del tamaño del hogar, siendo más favorable en contextos donde se reduce el uso de leña. En consecuencia, se establece que el biodigestor doméstico es económicamente viable bajo condiciones específicas, constituyendo una alternativa sostenible con beneficios económicos progresivos a nivel doméstico.

## Recomendaciones

Profundizar en la caracterización de los residuos orgánicos domésticos más comunes en Costa Rica, se recomienda que futuras investigaciones analicen con mayor detalle la composición real de los residuos de cocina generados en hogares costarricenses, especialmente restos de frutas, verduras, arroz, pan, cáscaras, brozas de café, restos de carne y pescado, ya que la tesis demuestra que el comportamiento del biodigestor depende en gran medida del tipo de sustrato, su humedad y su contenido de sólidos. Este análisis permitiría definir con mayor precisión cuáles residuos ofrecen mejor rendimiento de biogás bajo condiciones domésticas.

Realizar ensayos experimentales con mezclas específicas de alimentos o residuos recomendado, se recomienda evaluar de manera práctica distintas combinaciones de residuos orgánicos para identificar cuáles producen una llama más estable, mayor volumen de biogás y

mejor calidad energética. En particular, sería valioso investigar mezclas a base de frutas, verduras, residuos cocidos, arroz, pan y otros residuos de cocina frecuentes, así como estudiar el efecto de incorporar aditivos orgánicos como leche vencida o suero de queso, ya que en uno de los antecedentes incluidos en la tesis estos materiales mejoraron la calidad de la llama y el desempeño del sistema.

Estudiar con mayor profundidad la relación carbono/nitrógeno de los residuos alimentarios, se recomienda desarrollar investigaciones que permitan clasificar los residuos domésticos no solo por su disponibilidad, sino también por su relación C/N, debido a que el equilibrio nutricional del sustrato influye directamente en la estabilidad del proceso anaerobio. Esto permitiría formular por decirlo de una manera básica “mezclas ideales” para uso doméstico, evitando residuos con exceso de nitrógeno que puedan generar inhibición por amoníaco y aprovechando materiales con mayor contenido de carbono para estabilizar la digestión.

Evaluar experimentalmente el efecto del tamaño de partícula de los residuos, se recomienda investigar el impacto real del picado o trituración previa de los residuos orgánicos sobre la velocidad de degradación y la producción de biogás, ya que la tesis señala que el tamaño del residuo es una variable importante que frecuentemente no se controla en sistemas domésticos. Este análisis permitiría establecer si el pretratamiento del sustrato mejora de forma significativa la eficiencia del biodigestor y si vale la pena incorporarlo como práctica recomendada para el usuario final.

Evaluar el desempeño del sistema durante periodos prolongados de operación, se recomienda realizar investigaciones de mayor duración que permitan observar el comportamiento del biodigestor a mediano y largo plazo, incluyendo estabilidad de producción, acumulación de sólidos, mantenimiento requerido, variaciones del pH y respuesta ante cambios en la alimentación. Esto permitiría pasar de un diseño técnicamente fundamentado a una validación operativa más robusta en condiciones reales de uso doméstico.

Desarrollar una guía práctica de residuos recomendados y no recomendados para el usuario, como aplicación directa del presente trabajo, se recomienda elaborar en futuras etapas una guía doméstica sencilla que indique qué residuos pueden incorporarse con mayor frecuencia, en qué proporción deben mezclarse con agua y cuáles deben controlarse o limitarse según su humedad,

contenido de sólidos o efecto en el proceso. Esta herramienta haría el biodigestor más accesible para familias sin formación técnica y mejoraría la estabilidad operativa del sistema.

## Bibliografía

- ACD Desarrollos. (3 de febrero de 2023). *ACD Desarrollos*. Obtenido de <https://www.desarrollosacd.com/tipos-de-biodigestores-cual-es-la-mejor-opcion/>
- Adekunle, K. F. (2015). *scientific research an academic publisher*. Obtenido de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=55061>
- Agency, G. E. (s.f.). *gea.gov.gy*. Obtenido de <https://gea.gov.gy/downloads/Biodigester-Manual.pdf>
- Amit Garg, K. K. (2006). *ipcc-nggip.iges.or.jp*. Obtenido de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf)
- appa renovables. (s.f.). Obtenido de <https://www.appa.es/appa-biogas/que-es-el-biogas/>
- ARESEP. (2026). *ARESEP.GO.CR*. Obtenido de <https://aresep.go.cr/gas/tarifas/>

- argentina. (s.f.). *argentina.gob.ar*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/jefatura/ambiente/accion-ambiental/biodigestores>
- Arias, F. M. (2018). *repositorio.tec.ac.cr*. Obtenido de [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10012/impactos\\_implementacion\\_biodigestores\\_asentamientos\\_rurales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10012/impactos_implementacion_biodigestores_asentamientos_rurales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Association, N. F. (2021). *misafecanna*. Obtenido de <https://misafecanna.com/wp-content/uploads/2021/09/NFPA-58-20-LPG.pdf>
- ASTM-D1998-21. (2021). *store.astm.org*. Obtenido de [https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/documents/ASTM-D-1998\\_Technical\\_Training\\_Document.pdf](https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/documents/ASTM-D-1998_Technical_Training_Document.pdf)
- Barquero, M. E. (2023). *SIBDI*. Obtenido de <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/4cecb5d5-2999-4980-ba6c-f8439ef38a0e/content>
- binasss. (1990). *binasss*. Obtenido de <https://www.binasss.sa.cr/revistas/rccm/v13n3-4/art2.pdf>
- CFIA. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en edificaciones edicion 2017*. San Jose.
- Cigoña, J. R. (2026). *sage.com*. Obtenido de <https://www.sage.com/es-es/blog/tasa-interna-de-retorno-tir-que-es-y-como-se-calcula/>
- Corrales, D. A. (2024). *ingbiosistemas.ucr.ac.cr*. Obtenido de <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/tesis/TFG-DanielaMoraCorrales.pdf>
- ctube. (26 de noviembre de 2024). *ctube*.
- Diz, M. G. (2026). *Ceupe.com*. Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/que-es-el-van.html>
- Durán, A. (2024). *nacion.com*. Obtenido de <https://www.nacion.com/economia/indicadores/donde-se-consume-mas-lena-en-los-hogares-costa/D7DKIRMVSREOHJEKYAFQKM3XG4/story/>
- Durman. (marzo de 2024). *Grupo Aliaxis*. Obtenido de <https://grupoalixis.s3.us-east-2.amazonaws.com/durman/descargas/edificacion/sistemas-para-agua-potable/tanques-para-agua/ficha-tecnica/FT+Tanque+Tricapa.pdf>

- ecodes. (s.f.). *ecodes*. Obtenido de <https://ecodes.org/tiempo-de-actuar/hogares-sostenibles/residuos>
- Flores, N. H. (2025). *Nexus: Multidisciplinary Research Journal*. Obtenido de <https://nexushouseeditorial.com/index.php/nexus/en/article/download/24/18/39>
- Gabarain, E. H. (Junio de 2023). *UNED*. Obtenido de [https://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/images/pdf/ERIK\\_HERNANDEZ.pdf](https://www.uned.ac.cr/ecologiaurbana/images/pdf/ERIK_HERNANDEZ.pdf)
- Geniabioenergy. (s.f.). *Geniabioenergy*. Obtenido de <https://geniabioenergy.com/ventajas-del-biogas-frente-otras-energias-renovables/>
- gesalor. (09 de septiembre de 2025). *gesalor*. Obtenido de <https://www.gesalor.es/de-purin-a-energia-verde-la-sorprendente-metamorfosis-que-ocurre-dentro-de-un-biodigestor/>
- Gluu. (s.f.). *Gluu*. Obtenido de <https://www.gluuhandmade.com/product/tiras-para-medir-el-ph/>
- Hernando, A. (2020). *researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Grafica-Biodigestor-Tipo-Campana-Flotante-Viabilidad-tecnica-para-produccion\\_fig2\\_349213288](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Grafica-Biodigestor-Tipo-Campana-Flotante-Viabilidad-tecnica-para-produccion_fig2_349213288)
- Huang, V. (13 de junio de 2023). *harvestr*. Obtenido de <https://blog.harvestr.io/payback-periodo>
- ICE. (s.f.). Obtenido de <https://drco-mag.yolasite.com/resources/Cursobiodigestores.pdf>
- INEC. (2025). *inec.cr*. Obtenido de <https://admin.inec.cr/sites/default/files/2025-10/reenaho2025.pdf>
- Infocampo. (s.f.). *infocampo*. Obtenido de <https://www.infocampo.com.ar/los-beneficios-de-tener-biodigestores-en-los-establecimientos-productivos/>
- Institute, P. P. (2025). *plasticpipe.org*. Obtenido de <https://plasticpipe.org/common/Uploaded%20files/Technical/PPI-TR-09.pdf>
- Jewellok. (2025). *jewellok*. Obtenido de <https://www.jewellok.com/es/Reguladores-de-gas-de-dos-etapas%3A-c%C3%B3mo-garantizan-una-presi%C3%B3n-constante/>
- Jose, M. d. (2025). *msj*. Obtenido de <https://www.msj.go.cr/docu/Comunicados/Plan%20Municipal%20de%20Gestion%20Integral%20de%20Residuos%20Solidos.pdf>
- Kintek. (febrero de 2026). *Kintek*. Obtenido de <https://es.kintek-solution.com/faqs/what->

oil-and-gas-industry-uses-does-teflon-have

Kolstad, C. (18 de agosto de 2024). *Tameson*. Obtenido de <https://tameson.es/pages/manometro-como-funciona>

mexicanos, P. (2012). *polimers.com*. Obtenido de [www.polimers.com.mx](http://www.polimers.com.mx)

Ministerio de Salud Costa Rica. (2022). *ministeriodesalud*. Obtenido de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/separayvenceras/img/Linea-base-GIR-Taller-6-de-diciembre%202022.pdf>

Molders, A. o. (s.f.). *rotomolding.org*. Obtenido de <https://www.rotomolding.org/design-guide-pt2-ch1>

Moreno, P. M. (2011). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>

Muñiz, L. S. (18 de agosto de 2023). *Cis-Lab*. Obtenido de <https://www.cislab.com.mx/blog/el-blog-del-quimico-1/todo-sobre-el-papel-indicador-de-ph-61>

nations, F. a. (1996). *swwm.info*. Obtenido de [http://swwm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/FAO%201996%20Biogas%20Technology%20A%20Training%20Manual%20for%20Extension.pdf](http://swwm.info/sites/default/files/reference_attachments/FAO%201996%20Biogas%20Technology%20A%20Training%20Manual%20for%20Extension.pdf)

Nevadanano. (s.f.). *Nevadanano*. Obtenido de <https://nevadanano.com/methane-gas-sensors/>

octoen. (s.f.). *octoen*. Obtenido de <https://www.octoen.com/es/blog/todo-sobre-el-biodigestor>

ogisa. (9 de enero de 2025). *ogisa infraestructuras*. Obtenido de <https://ogisa.es/biogas-que-es-como-se-obtiene-y-sus-principales-usos/>

Pérez, A. (17 de marzo de 2026). *OBS Business School*. Obtenido de <https://www.obsbusiness.school/blog/analisis-de-inversion-un-buen-primer-paso-para-tomar-decisiones>

pipe-drives. (s.f.). Obtenido de <https://www.pipedrive.com/es/blog/tasa-de-descuento>

Promart. (s.f.). *promart*. Obtenido de <https://www.promart.pe/blog/que-es-un-biodigestor>

Pustjens, J.-W. (15 de Enero de 2025). *Tameson*. Obtenido de <https://tameson.es/pages/valvulas-de-alivio-de-presion-como-funcionan>

RECOPE. (21 de julio de 2021). *RECOPE*.

- RECOPE. (2021). *recope.go.cr*. Obtenido de <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/poder-calorico/>
- Rio, A. D. (29 de agosto de 2023). *GTA ambiental*. Obtenido de <https://gtaambiental.com/diferencia-entre-residuo-y-basura/>
- Ristevski, C. (10 de junio de 2024). *SWANA*. Obtenido de <https://swana.org/news/blog/swana-post/swana-blog/2024/06/10/regenerative-hydrogen-sulfide-removal-in-the-biogas-industry-innovativesolutions-for-sustainable-gas-purification>
- Salud, M. d. (2016). *Ministerio de Salud Costa Rica*. Obtenido de [https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=917](https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php?option=com_content&view=article&id=917)
- Short, W. (1995). *docs.nrel.gov*. Obtenido de <https://docs.nrel.gov/docs/legosti/old/5173.pdf>
- solutions, P. (s. f.). *tanks. polyprocessing*. Obtenido de [https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/documents/ASTM-D-1998\\_Technical\\_Training\\_Document.pdf](https://tanks.polyprocessing.com/hubfs/documents/ASTM-D-1998_Technical_Training_Document.pdf)
- United States Environmental Protection Agency. (15 de diciembre de 2025). *EPA*. Obtenido de <https://www.epa.gov/agstar/how-does-anaerobic-digestion-work>
- Vargas, R. M. (Julio de 2003). *scielo*. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292003000200003](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292003000200003)
- Vera, P. V. (octubre de 2022). *ciencia.lasalle.edu.co*. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/35cfafa5-2a81-4493-93e4-e4d81331b502/content>
- Vicente, I. G. (30 de septiembre de 2020). *360-sv*. Obtenido de <https://www.360-sv.com/blog/residuos>
- Westerncanadacoatings. (s.f.). *Westerncanadacoatings*. Obtenido de <https://www.westerncanadacoatings.ca/what-is-a-polyurethane-sealant/>

## Anexos

*Anexo 1. Espaciamento máximo entre soportes para tubería*

**TABLA 6.9 ESPACIAMIENTO MÁXIMO ENTRE SOPORTES PARA TUBERÍAS COLGANTES**

Material	Diámetro (mm)	Espaciamiento entre soportes (m)	
		Horizontal	Vertical
Hierro galvanizado	12	2,00	2,50
	18	2,50	3,00
	25	3,00	3,50
	32 a 50	3,50	4,00
	62 a 100	4,00	4,50
	Mayor de 100	4,50	5,00
Cobre	9,5	1,00	1,80
	12	1,10	1,80
	16	1,20	2,00
	19	1,30	2,20
	25	1,60	2,40
	32-38	1,70	3,00
	50	1,90	3,00
	62	2,30	3,00
	75	2,30	3,60
	89	2,60	3,80
	100	3,00	4,00
	Mayor de 100	3,40	4,00
	PVC (1)	12	1,00
18		1,25	1,8
25		1,50	2,0
32 a 50		2,00	2,5
62 a 100		2,50	3,0
Mayor de 100		3,00	3,5
Acero	10	1,5	Un soporte por piso
	15	1,7	
	20	1,9	
	25	2,1	
	32	2,4	
	40	2,5	
	50	2,8	
	65	3,1	
	80	3,4	
	100	3,8	
	125	4,1	
150	4,4	Un soporte cada 2 pisos	
CPVC.	Menor de 25	0,91	Un soporte por piso
	Mayor de 32	1,22	
	16	5,0	6,5
	25	6,0	7,8
	32	6,5	8,7
	40	7,5	9,7
PEAD	50	8,0	10,4
	63	9,0	11,7
	75	10,0	13,0
	90	11,0	14,3
	110	12	15,6
Hierro fundido y dúctil	12 - 20	2,0	Dos soportes por cada tubo
	25 - 100	3,0	
	> 100	4,5	
	Además	Dos soportes por cada junta	

 In Stock



## Regulador R2ET Acción Directa Segunda Etapa GN 16 -22 mbar 1/2" NPT h x 1/2" NPT h 3.2 m³/h GN

Regulador de uso Interno para instalaciones residenciales de gas. Norma de Referencia NTC-3293. Con diferentes caudales según la aplicación y dispositivo de seguridad Dispositivo de seguridad de corte.

**S/75.90**

1

+

-

Añadir al carrito

SKU: 411101

**Categorías:** Gas Natural, Gas Solutions, Productos para Gas, Regulación

**Etiquetas:** Accion Directa, Doméstico, Regulador R2ET, Uso Interno

DESCRIPCIÓN

INFORMACIÓN ADICIONAL

DOCUMENTOS


Presión de Entrada MIN. bar (0.5 psi). Presión de Entrada MÁX. bar (2 psi). Presión de Salida 16 -22 mbar (6,4 - 8,8 «c.a.). Caudal con presión de entrada MIN m³/h GN 3.2. con presión de ajuste m³/h GN 3.2. Conexión Entrada 1/2" NPT h Conexión Salida 1/2" NPT h

### Anexo 3. Alarma de gas

 Steren

Search entire store here...

Sign In

My Cart 

SMART HOME

TV Y VIDEO

AUDIO

CABLES

SEGURIDAD

LO NUEVO

MÁS CATEGORÍAS +

TIENDAS



ALA-GAS

#### Alarma de gas

★★★★★ (2)

€17.900,00

CANT.

-

1

+

AÑADIR A CARRITO



Comprar por WhatsApp

**Detecta fugas de gas en tu hogar o negocio, de forma oportuna**

Detecta gas natural, LP, propano, metano, y monóxido de carbono  
Reconocimiento a partir de 2 500 partes por millón  
Alarma audible de 80 dB  
Cable de 1,3 m aprox.

Compartir en



Descripción

Detecta fugas de gas en tu hogar o negocio, de forma oportuna.

**AVISOS****COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS  
Y DE ARQUITECTOS DE COSTA RICA****CÓDIGO DE  
INSTALACIONES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS EN EDIFICACIONES  
EDICIÓN 2017**

En aras de mejorar y asegurar una adecuada práctica profesional en las diversas ramas de la Ingeniería y de la Arquitectura, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) desde hace ya muchos años, realiza el establecimiento de códigos y normas técnicas. El objeto de estas normas es establecer los requisitos básicos que aseguren una calidad adecuada de las obras. Esto resulta especialmente necesario en ciertas áreas que influyen directamente en el bienestar público, como es el caso del presente código.

Se reconoce que la existencia de un abastecimiento seguro y suficiente de agua potable, así como el pronto y eficiente tratamiento de los desechos humanos y domésticos, son elementos esenciales en la sanidad humana. Para que los servicios públicos de abastecimiento y desecho de aguas residuales sean útiles a los usuarios individuales, debe haber:

- Conexiones que lleven el agua desde las tuberías de distribución hasta cada propiedad.
- Un sistema de fontanería interna y accesorios en el interior de los inmuebles.
- Desagües para transportar el agua servida y los desechos humanos desde los inmuebles hasta el alcantarillado público o hasta sistemas de tratamiento doméstico.

Estas conexiones, tuberías, accesorios sanitarios y desagües domiciliarios constituyen lo que en este Código se denominan "instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones". Este Código debe mucho de su contenido a normativas similares. En particular, se deben mencionar las siguientes:

- The Uniform Plumbing Code, de la Asociación Oficial Internacional de Plomeros y Mecánicos (IAPMO, por sus siglas en inglés), 1997
- "Notas técnicas de normas sanitarias para edificaciones", gaceta 18, setiembre de 1998, de la República de Venezuela
- El Código de Construcciones del Estado de Florida, versión 2001, Sección Código de Plomería
- National Standard Plumbing Code 2003, de la Asociación Nacional de Contratistas de Plomería, Calor y Aire Acondicionado de Estados Unidos (PHCG, por sus siglas en inglés)

Asimismo, se ha hecho el esfuerzo de introducir todas las normativas, reglamentos y leyes existentes en el país relacionadas con este campo, las cuales se pueden apreciar en una lista más adelante.

INTERNATIONAL  
STANDARD

ISO  
23590

First edition  
2020-12

---

---

**Household biogas system  
requirements: design, installation,  
operation, maintenance and safety**

*Exigences relatives aux systèmes de biogaz domestiques: conception,  
installation, utilisation, maintenance et sécurité*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 23590:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/72ac3755-1372-45ae-a8ca-a93e4a4084d6/iso-23590-2020>



Fecha de Revisión: Mayo 2012  
Sustituye a: Febrero 2012

## ROTOLENE

### 1.- Descripción del Producto.

Copolímero de Polietileno Lineal de Media Densidad Grado Hexeno, con Estabilizador U.V. 8.

Disponible en polvo natural y compuestos de colores.

**Aplicación:** Polietileno de Máxima calidad, recomendado para aplicaciones generales. Frecuentemente utilizado para tanques de agua y contenedores pequeños o medianos que necesiten muy buenas propiedades mecánicas. Cuando es usado para capas externas brinda fino acabado y textura.

La resina natural, la cual es utilizada como base en todas las formulaciones de los compuestos de color cumple todos los requerimientos de aprobación por la F.D.A. de U.S.A. Con. No. de aprobación 21 C.F.R. 177.1520 (c)3.1a, Garantizado en el contacto directo con alimentos.

### 2.- Principales Propiedades Típicas

PRUEBA	ASTM	UNIDADES	RESULTADO
DENSIDAD	ASTM D1505 Referencia	gr/cm <sup>3</sup>	0.935
	MA-01 Método Propio		
IND. DE FLUIDEZ @190°C/2.16 kg	ASTM D1238	gr/10 min	5.0
RESISTENCIA DE TENSIÓN A LA CEDENCIA @ 50mm/min	ASTM D638 <sup>2</sup>	Psi (MPa)	2700 (18.60)
RESISTENCIA DE TENSIÓN A LA RUPTURA @ 50mm/min	ASTM D638 <sup>2</sup>	Psi (MPa)	2900 (20)
MÓDULO DE FLEXIÓN 1 % SECANTE	ASTM D790 <sup>2</sup>	Psi (MPa)	100,000 (690)
ELONGACIÓN A LA CEDENCIA	ASTM D638 <sup>2</sup>	%	12
ELONGACION A RUPTURA	ASTM D638 <sup>2</sup>	%	> 800
TEMP. DE DEFLEXIÓN POR CALOR @ 66 psi (0.45 Mpa)	ASTM D648 <sup>2</sup>	°C	60
E.S.C.R. 100% Igepal E.S.C.R. 10% Igepal	ASTM D1693 <sup>1</sup>	Hr	>1000 200
IMPACTO EN BAJA TEMPERATURA @ -40° C	ARM STD <sup>2</sup> 1/8" specimen	ft*lb <sub>i</sub> (J)	50 (68)

<sup>1</sup> Especificaciones de Placas de acuerdo a ASTM D4976

<sup>2</sup> Placa rotomoldeada de 0.125 in (3.175 mm) de espesor.

La información técnica, usos sugeridos y aplicaciones presentados están basados en resultados obtenidos en las pruebas típicas realizadas a cada producto. Polímeros Mexicanos, S.A. de C.V. no se responsabiliza por el uso, ni por los resultados basados en esta información, todos los usuarios deberán hacer sus propias pruebas para determinar su uso.

Polímeros Mexicanos

Monte Alto #21  
Parque Industrial  
Ixcalli  
Col. Esperanza  
Cd. Nezahualcoyotl

Tanques  
**Durman**



**Durman**  
by aliaxis

## Tanque Tricapa

En la tabla adjunta se presenta el detalle de las dimensiones del sistema, en función a la capacidad seleccionada.



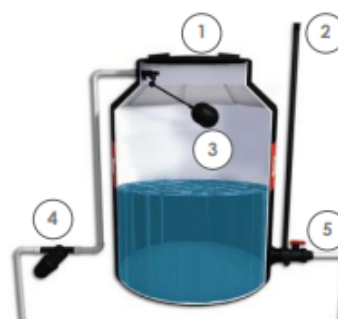
Capacidad	450 L	750 L	1100 L	1700 L	2500 L
Diámetro (A) cm	84	97	107	136	154
Altura (B) cm	108	131	146	157	168
Peso c/agua (kg)	463	766	1,121	1,728	2,539
Capacidad (gal)	119	198	291	448	661
Barriles/Estaciones	2.2	3.6	5.3	10.7	11.9

## Características Técnicas

Concepto	Descripción
Material	Poliétileno Lineal base 93050
Aprobación FDA	Cumple con Foods and Drugs Administration, número 21 CFR 177 1520
Colores disponibles	Negro humo para mayor resistencia a los rayos UV (evita la fotosíntesis)
Recubrimiento interno	Capa anti bacterial de alto espesor de color blanco
Capa externa Beige	Reduce la absorción de los rayos UV y mantiene el agua fresca.

Última revisión: marzo 2024

## Accesorios Incluidos




1. Tapa clic con cierre hermético, se ajusta en su recibidor al girarla un  $\frac{1}{4}$  de vuelta.
2. Jarro de aire que facilita el flujo de agua.
3. Válvula de entrada con flotador que trabaja a alta y baja presión, con acople macho y sello perfecto para evitar derrames, la boya es reforzada y 100% hermética con varilla de metal y tornillo de ajuste con cremallera de alta resistencia.
4. Filtro de sedimentos no desechable (ahorro de mantenimiento), de llenado rápido y mejor filtrado:
  - Entrada y salida de  $\frac{3}{4}$ ", larga vida útil. Trabaja desde  $0^{\circ}\text{C}$  hasta  $140^{\circ}\text{C}$ .
  - Utiliza tecnología de filtración de anillos, que permite retener todos los materiales sólidos que contiene el agua permitiendo una limpieza constante de ésta.
  - Reduce la cantidad de sarro acumulado en las tuberías, pilas de lavaderos, piletas, duchas, etc.
5. Multiconector de polietileno con reductor, fácil de instalar con válvula de bola de PVC integrada. Salida para drenaje y limpieza del tinaco, con reducción de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{1}{2}$ ".

Productos químicos > Productos químicos energéticos > Biogás

### Pequeño depurador de biogás, purificador, desulfurizador, filtro de H2S para plantas de biogás

Ver reseñas · 3 vendido/s

**Shenzhen Minerva Tech Co., Ltd.** CN · 4 años en Alibaba.com  
 3.9/5.0 (113 reseñas) | Tiempo de respuesta ≤ 4h | Tasa de entregas a tiempo ≥ 92%



**Fotos** Atributos

Personalizable

Cantidad mínima de compra: 1 unidad

**CRC 5 136<sup>01</sup>**

Cantidad

- 0 +

Opciones de personalización >

- Logotipo personalizado (Pedido mínimo: 100 unidades)
- Embalaje personalizado (Pedido mínimo: 100 unidades)
- Personalización gráfica (Pedido mínimo: 100 unidades)

Envío

Tarifa de envío y fecha de entrega por definir. Chatea con el proveedor para confirmar los detalles.

Subtotal del artículo **CRC 0,00**

Total del envío **Por definir**

**Total antes de impuestos** **CRC 0,00**

Cotizar

Chatea ahora

### Anexo 9. Filtro H2S Características

**Características** Reseñas Proveedor Descripción

#### Características clave

Uso	Combustible para cocinar	Calorías (J)	23600000
Contenido de Azufre (%)	0.00001	Contenido de Hidrógeno (%)	1
Contenido de Metano (%)	70	Contenido de Nitrógeno (%)	1
Lugar del origen	Guangdong, China	Marca	Turtle Biogas
Número de Modelo	biogas storage dehydration	Marca	Desulfurizador de Biogás Turtle
Dimensión	330*180*130 mm	Capacidad	1,5 litros
máximo Tratar el biogás diariamente	8 metros cúbicos	Material	plástico
Fuente de Gas	Biogás	Peso del paquete	2 kilos
Garantía	1 año		

Anexo 10. Datos técnicos que relaciona la temperatura de servicio con la tensión de aro de diseño permitida para material

Service Temperature

100° F  
110° F  
120° F  
150° F  
140° F  
150° F

Design Hoop Stress

600 psi  
550 psi  
500 psi  
450 psi  
400 psi  
300 psi

*Anexo 11. Configuración biodigestor casero*



*Anexo 12. Ficha técnica cinta de teflón Argos*

## Cinta teflón para gas

Cintas y tubo termocontráctil

1.20



### Aplicaciones:

La cinta de teflón Argos para gas se puede utilizar en acero galvanizado, hierro, latón, cobre, aluminio, acero inoxidable, polietileno, polipropileno, tubería de PVC, CPVC, ABS y fibra de vidrio de rosca.

Este producto es compatible con la tubería que lleva ácidos diluidos, aire comprimido, disolventes alifáticos, aceites de corte, aceite combustible diesel, fluidos hidráulicos, gas LP, gas natural, solventes de petróleo, vapor, aceites vegetales, agua y muchos más.

### Características:

- Material: politetrafluoretileno (PTFE) o teflón.
- Temperatura: -268°C a 260°C.
- Densidad: 1.25 a 1.5 g/cm<sup>3</sup>.
- Elongación: > 50 %.
- Resistencia a la tracción: 1 245 psi a 2 500 psi.
- Calificación de presión: 10,000 psi.
- Duración: indefinido.

### Cinta teflón para gas

Código	Color	Descripción	Medidas		
			Ancho (mm)	Largo (m)	Espesor (mm)
9750091	●	Cinta teflón para gas	12	13	0.1

Últimos días

**14,99€**~~35,00€~~**-57%****1. Tamaño: 0-16mbar**

1

Añadir al carro

- ✓ Envío gratis en pedidos superiores a 25,00€
- ✓ Devolución hasta 14 días
- ✓ Pago 100% seguro

**Detalles del producto**

Múltiples opciones: Ofrecemos una variedad de manómetros, incluyendo manómetros de dial, manómetros de aire, manómetros de inflado y manómetros for tuberías, for satisfacer diversas necesidades. Ya sea for su fábrica, taller, hogar o uso en exteriores, tenemos el producto ideal for usted.

Medición de alta precisión: Independientemente del tipo de manómetro que elija, nuestros productos utilizan tecnología de detección de alta precisión for garantizar que pueda medir con precisión los cambios de presión. Esto es crucial for la monitorización y el mantenimiento de los equipos.

Robustos y duraderos: Nuestros manómetros están fabricados con materiales y diseños robustos for garantizar una larga vida útil. Soportan diversas condiciones ambientales y escenarios de aplicación, brindándole un rendimiento confiable.

Aplicaciones versátiles: Ya sea que necesite usar un manómetro for el mantenimiento automotriz, la monitorización del suministro de gas, la revisión de equipos inflables o sistemas de tuberías, nuestros productos pueden satisfacer necesidades. Son aptos for diversas industrias y ofrecen un rendimiento versátil.

Atención al cliente excepcional: Ofrecemos una atención al cliente excepcional, lo que garantiza que recibirá asistencia oportuna ante cualquier problema que pueda surgir durante el uso. Nos comprometemos a garantizarle una experiencia de compra sin preocupaciones.

Mostrar menos

**Descripción**

Manómetro de presión mbar calibrable de 0 a 16 mbar, 50 mbar, 80 mbar, 100 mbar y 200 mbar. Manómetro de presión de gas ajustable.

## Anexo 14. Ficha técnica Duretán sellador de poliuretano



productos  
pennsylvania



## duretán®

### poliuretanos

Hoja Técnica

**duretán®** es un sellador de poliuretano de múltiples usos y multistratos, creado para sellar juntas tanto constructivas con movimiento severo como emboquillados, sellos de láminas en techumbres, juntas en metales y sellos en general.

#### Información técnica / duretán® (cartucho de cartón)

PROPIEDADES	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Base química	Poliuretano	
Aspecto	Pasta suave	
Formación de película	10-18 horas (25°C, 50% HR)	ASTM-C-679-87
Relación de curado	1-2 mm/día (25°C, 50% HR)	ASTM-D-1640
Densidad	1.30-1.32 g/ml	ASTM-D-1475-98
VOC	33.36 g/L	EPA24
Temperatura de aplicación	5 °C a 40 °C	
Temperatura de trabajo	-30 °C a 70 °C	
Elongación	Aprox. 550%	ASTM-D-412-98a
Resistencia a la tensión	12-15 kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM-D-412-98a
Dureza Shore A	40-45	ASTM-C-661-98
Capacidad de movimiento	±25%	ASTM-C-719
Resistencia a los rayos UV	Buena	

Información obtenida en pruebas de laboratorio.

#### Información técnica / duretán® (cartucho de aluminio y salchicha)

PROPIEDADES	VALOR	MÉTODO DE PRUEBA
Base química	Poliuretano	
Aspecto	Pasta suave	
Formación de película	120 minutos (23°C, 50% HR)	ASTM-C-679-87
Relación de curado	3 mm/día (25°C, 50% HR)	ASTM-D-1640
Densidad	1.20-1.22 g/ml	ASTM-D-1475-98
VOC	<81.1 g/L	
Temperatura de aplicación	5 °C a 35 °C	
Temperatura de trabajo	-30 °C a 80 °C	
Elongación	>640%	ASTM-D-412-98a
Resistencia a la tensión	>13.60 kgf/cm <sup>2</sup>	ASTM-D-412-98a
Dureza Shore A	40-43	ASTM-C-661-98
Capacidad de movimiento	±25%	ASTM-C-719
Resistencia a los rayos UV	Buena	

Información obtenida en pruebas de laboratorio.

### Usos

**duretán®** ha sido formulado fundamentalmente para:

- Sellos o uniones elásticas, herméticas, impermeables y durables entre materiales porosos con porosos y lisos con porosos.
- Sellos en metales, hierro, láminas de aluminio y múltiples materiales de la industria y la construcción.
- Sellos de juntas constructivas con movimiento severo entre materiales como mampostería, muros de contención y paneles

- Sellos perimetrales entre aluminio y muro en construcciones de grandes alturas.
- Sellos en techumbres de láminas galvanizadas y sellos entre láminas metálicas.
- Sellos en esquinas de muros, pisos o plafones que requieran convertirse en superficies curvas, para evitar la formación o acumulación de bacterias, en quirófanos o laboratorios.
- Sellos en pisos de madera, techumbres, pisos y techos de

poliuretanos

POL-01

01-2022 (sustituye todas las anteriores)

duretán®

## Anexo 15. Ficha técnica Duretán sellador de poliuretano



**duretán®**  
poliuretanos

Hoja Técnica

### Ventajas

- Cumple y excede los requerimientos de la norma ASTM C-920, clase 25, tipo NS.
- No mancha piedras naturales.
- Se puede recubrir con impermeabilizantes o repellidos una vez curado.
- Excelente adhesión a diferentes sustratos sin necesidad de usar primer.
- Notable resistencia al envejecimiento y al intemperismo.
- Excelente resistente a la humedad salina.
- No escure en juntas verticales o sobre cabeza. (En un ancho máximo de junta de 20 mm).
- Resiste el ataque de microorganismos.
- Una vez curado puede estar en contacto con el agua potable.
- Resiste el paso de vehículos y montacargas.
- Resiste pequeños derrames de aceites y gasolina.

### Aplicación

Las superficies a sellar deben ser firmes, estar secas, limpias, libres de polvo, grasas, aceites, agua y sellador viejo. Realizar la limpieza de las superficies porosas con una brocha o aplicando aire a presión, para retirar todas las partículas sueltas. En el caso de superficies lisas, se hace una limpieza con la técnica de dos paños que consiste en pasar sobre la superficie un trapo (que no desprenda pelusa) impregnado con alcohol isopropílico e inmediatamente retirar todas las impurezas con otro trapo seco y limpio. Colocar un enmascarillado con cinta masking tape sobre las superficies para delimitar el área a sellar. Introduzca duretán® en la pistola de calafateo para cartucho o para salchicha dependiendo de la presentación. Corte la parte superior del cartucho, o en el caso de la salchicha corte al ras de la grapa metálica y retírela completamente; posteriormente coloque y corte la

pipeta a 45° calculando el ancho de la junta a sellar. Accione el gatillo de la pistola para presionar el émbolo y así el producto fluirá sobre la junta. Aplique el sellador en forma de cordón sobre la superficie a sellar. Se debe dejar como mínimo una sección de 6 x 6 mm y como máximo 1 pulgada. Por último, se hará un repaso en sentido contrario a la aplicación con una espátula recta para que el sellador penetre lo necesario en la junta, para generar una mejor adhesión y romper las burbujas de aire que pueden quedar atrapadas durante la aplicación. Al final retirar el enmascarillado desprendiendo en sentido opuesto a la aplicación con un movimiento continuo pero controlado. El excedente puede ser removido lo antes posible con un trapo humedecido con alcohol isopropílico.

### Recomendaciones

- Realizar pruebas bajo condiciones reales de aplicación para asegurar su correcto funcionamiento.
- No aplicar en superficies húmedas o materiales en proceso de curado o fraguado.
- Pintarlo hasta que esté completamente curado.
- Para formar una junta adecuada del sellador y evitar la adhesión a una tercera superficie, se recomienda utilizar como respaldo una extrusión cilíndrica de poliolefín SOF Rod o polietileno HBR (ver hoja técnica).
- La relación entre ancho y profundidad para juntas de 6 mm y de hasta 10 mm de ancho será de 1 a 1 (ancho = profundidad). En juntas mayores de 10 mm y hasta a 25 mm, será de 2 a 1 (profundidad = ancho/2).
- Es importante considerar que este sellador no está desarrollado para estar en inmersión constante de agua ya que tendrá un tiempo de vida menor.

### Mantenimiento

- No requiere de mantenimiento alguno.
- Si el sello sufre algún daño, reemplace la sección dañada limpiando la superficie antes de aplicar el sellador nuevo.

### Precauciones

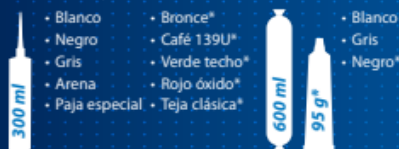
- El sellador no deberá aplicarse en áreas completamente cerradas, ya que requiere de la humedad relativa para su curado.
- El producto sin curar puede causar irritación a los ojos y a la piel en contacto prolongado. En caso de presentar molestias, lavar con abundante agua durante 15 minutos e inmediatamente acudir al médico.
- No se deje al alcance de los niños.

### Limitaciones

- El color blanco expuesto tendrá un ligero cambio de color.
- No utilizar en vidrios y plásticos.
- No usar en contacto con asfaltos.

### Presentaciones

#### Tamaños y Colores



- Blanco
- Negro
- Gris
- Arena
- Paja especial
- Bronce\*
- Café 139U\*
- Verde techo\*
- Rojo óxido\*
- Teja clásica\*
- Blanco
- Gris
- Negro\*

\*Colores especiales y presentación en tubo despresible sólo bajo pedido

### Rendimiento

Un cartucho rinde 7.75m, en juntas de 6 x 6 mm, considerando un 7% de desperdicio.

Una salchicha rinde 15.50 m en juntas de 6 x 6 mm, considerando un 7% de desperdicio.

### Tiempo de vida

18 meses cartucho cartón.

14 meses cartucho de aluminio y salchicha

En bodega fresca y seca, en el envase original a temperaturas de 21 °C (70 °F) y 50% de humedad relativa.

### Soporte Técnico

Productos Pennsylvania pone a sus órdenes su Departamento Técnico para:

Asesoría sobre la aplicación de este o cualquier otro producto.

Revisión de planos.

Cálculo del tamaño de la junta a sellar.

Efectuar pruebas de compatibilidad entre sus selladores en general y los diferentes materiales.

### NOTA:

Productos Pennsylvania S.A de C.V. responde por la calidad de los materiales del producto, más no responde por la aplicación del mismo. Es responsabilidad del usuario hacer las pruebas de aplicación de este producto antes de utilizarlo.

Anexo 16. NFPA 54

