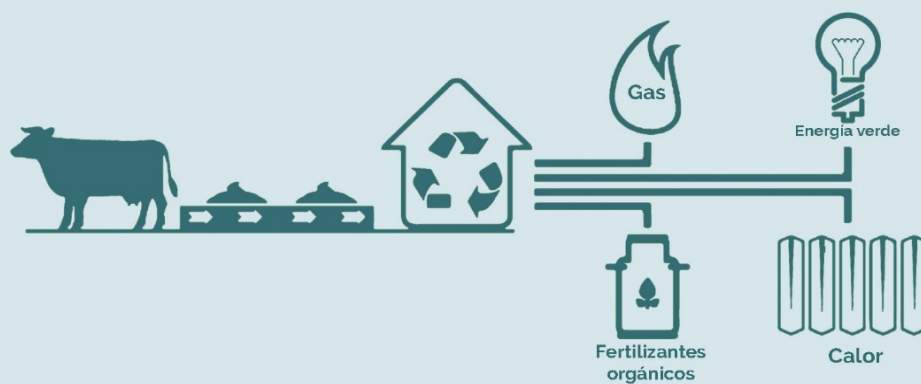




# Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador



# Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



[www.cepal.org/es/publications](http://www.cepal.org/es/publications)



[www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)

Este documento y su consultoría fueron llevados a cabo por Juan Carlos Hidalgo y Edlin Alfaro, Consultores de Grupo INCOMER, y los funcionarios del Consejo Nacional de Energía (CNE) de El Salvador, Rocío Aquino, Directora de Combustibles, y Edwin Alvarado, Analista de Combustibles, con apoyo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Se agradecen los comentarios, revisiones y edición realizados por los funcionarios y consultores de la Unidad de Energía y Recursos Naturales (UERN) de la Sede subregional en México de la CEPAL: Víctor Hugo Ventura Ruiz, Jefe, Debora Ley, Oficial de Asuntos Económicos, José Manuel Arroyo Sánchez, Oficial Asociado de Asuntos Económicos, Eugenio Torijano Navarro, Asistente de Investigación, y Rosa Estela Félix, Consultora. La implementación del sistema de biodigestión en la granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador) fue posible gracias al apoyo de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) y el financiamiento de la Provincia China de Taiwán en el marco del Proyecto Uso Racional y Sostenible de la Leña.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la CEPAL y de las instituciones socias.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de este documento no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

El formato de números de signo en decimales y en miles corresponde a la edición de CEPAL: comas para decimales y puntos en texto y espacio en cuadros y gráficos para miles.

El término *dólares* se refiere a la moneda de los Estados Unidos.

Publicación de las Naciones Unidas

LC/MEX/TS.2019/26

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2019

Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Ciudad de México, 2019-040

Esta publicación debe citarse como: CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2019), *Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador*, LC/MEX/TS.2019/26, Ciudad de México.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

## Índice

<b>Directorio institucional</b> .....	7
<b>Abreviaturas</b> .....	9
<b>Resumen</b> .....	13
<b>Presentación</b> .....	15
<b>Prólogo</b> .....	17
<b>Introducción</b> .....	21
<b>Capítulo I. Marco teórico</b> .....	25
A. Generalidades del biogás .....	25
1. ¿Qué es el biogás? .....	25
2. ¿Cuáles son las propiedades del biogás? .....	27
B. La biodigestión .....	28
1. El proceso de biodigestión anaeróbica .....	28
2. Los biodigestores .....	29
C. Tamaño y tipo de biodigestores .....	30
1. Los biodigestores domésticos .....	30
2. Los biodigestores industriales .....	30
3. Los biodigestores de pequeña escala .....	31
D. Rendimiento de biogás por tipo de biomasa .....	34



E.	Posibles aplicaciones energéticas.....	36
1.	Motores .....	36
2.	Quemadores .....	36
3.	Lámparas y calentadores .....	36
4.	Microturbinas .....	37
F.	Acondicionamiento y medidas de seguridad sobre el biogás.....	38
1.	Limpieza y comprensión del biogás.....	38
G.	Riesgos y seguridad del biogás.....	39
1.	Válvula de alivio .....	39
2.	Antorchas.....	39
3.	Arrestallamas.....	40
<b>Capítulo II. Evaluación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador .....</b>		<b>41</b>
A.	Definición de usuarios potenciales .....	41
B.	Preselección de sitios con potencial para realizar los proyectos piloto de biodigestores .....	43
C.	Selección de comunidades para visitas de campo .....	45
D.	Ficha de información recabada en las comunidades o caseríos e instituciones educativas visitados.....	46
E.	Evaluación de lugares para llevar a cabo proyectos piloto de biodigestores.....	48
<b>Capítulo III. Información de la institución educativa seleccionada como beneficiaria del proyecto piloto de biodigestor .....</b>		<b>53</b>
A.	Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez.....	53
1.	Ubicación .....	53
2.	Descripción del sitio .....	54
3.	Disponibilidad de biomasa.....	54
4.	Descripción del sistema de biodigestión.....	55
5.	Producción estimada de biogás .....	61
6.	Presupuesto de construcción .....	61
7.	Análisis financiero.....	63
<b>Capítulo IV. Implementación del sistema de biodigestión en la granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango) .....</b>		<b>65</b>
	Componentes del sistema de biodigestión.....	66
<b>IV. Conclusiones .....</b>		<b>69</b>
<b>Bibliografía .....</b>		<b>71</b>
<b>Anexo. Información de los otros dos sitios seleccionados como potenciales beneficiarios del proyecto piloto de biodigestores .....</b>		<b>73</b>

## Cuadros

Cuadro I.1	Equivalente de energía: biogás y otros combustibles fósiles .....	28
Cuadro I.2	Rendimiento de biogás por tipo de biomasa.....	34
Cuadro II.1	El Salvador: usuarios potenciales de biodigestores en el país.....	42
Cuadro II.2	El Salvador: comunidades sugeridas por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) como potenciales beneficiarios de biodigestores.....	43
Cuadro II.3	El Salvador: instituciones educativas sugeridas por la Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica (GETT) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED) como potenciales beneficiarios de biodigestores .....	44
Cuadro II.4	El Salvador: comunidades seleccionadas para visitas de campo.....	45
Cuadro II.5	El Salvador: centros educativos seleccionados para visitas de campo.....	45
Cuadro II.6	El Salvador: evaluación de las comunidades o caseríos visitados.....	49
Cuadro II.7	El Salvador: evaluación de las instituciones educativas visitadas.....	50
Cuadro II.8	El Salvador: resultados de la evaluación de las comunidades visitadas .....	52
Cuadro II.9	El Salvador: resultados de la evaluación de los centros educativos.....	52
Cuadro III.1	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biomasa disponible.....	55
Cuadro III.2	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biomasa disponible y producción de biogás.....	61
Cuadro III.3	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): dimensiones de las estructuras principales.....	61
Cuadro III.4	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): costo del sistema de biodigestión .....	62
Cuadro III.5	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): beneficios totales del sistema de biodigestión.....	63
Cuadro III.6	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión .....	63

## Gráficos

Gráfico I.1	Rendimiento potencial de biogás por tipo de biomasa.....	35
-------------	--	----

## Recuadros

Recuadro 1	Contribución del biogás a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) .....	23
Recuadro I.1	Tipos de plantas de biogás.....	27

## Diagramas

Diagrama I.1	Ciclo biológico del biogás.....	26
Diagrama I.2	Proceso de degradación de la materia orgánica .....	28
Diagrama I.3	Biodigestores de pequeña escala.....	31
Diagrama I.4	Biodigestor de domo fijo.....	33
Diagrama I.5	Biodigestor de tambor flotante.....	33

Diagrama I.6	Biodigestor de balón o de bolsa.....	34
Diagrama I.6	Rendimiento de biogás .....	35
Diagrama III.1	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): plano de edificaciones existentes.....	55
Diagrama III.2	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): ubicación del biodigestor .....	56
Diagrama III.3	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): conformación del biodigestor .....	56
Diagrama III.4	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): tanque de mezcla.....	57
Diagrama III.5	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biodigestor semienterrado.....	58
Diagrama III.6	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): detalles del biodigestor .....	58
Diagrama III.7	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): laguna de descarga y separador de sólidos.....	59
Diagrama III.8	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): patio de secado de lodos .....	59

## Mapas

Mapa III.1	Ubicación del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador) .....	53
Mapa III.2	Acercamiento a la ubicación del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador) .....	54

## Imágenes

Imagen I.1	Sistemas domésticos .....	30
Imagen I.2	Biodigestores industriales.....	31
Imagen I.3	Biodigestor de balón o de bolsa.....	34
Imagen I.4	Parrilla con doble quemador a base de biogás .....	36
Imagen I.5	Calentador (izquierda) y lámpara (derecha), ambos a base de biogás .....	37
Imagen I.6	Generador de microturbina Capstone C30.....	37
Imagen I.7	Válvula de alivio.....	39
Imagen I.8	Antorcha .....	40
Imagen I.9	Arrestallamas .....	40
Imagen III.1	Ejemplo de biodigestor semienterrado con muro perimetral .....	57
Imagen III.2	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biodigestor y patio de secado de lodos .....	60
Imagen III.3	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): clarificador y laguna de descarga.....	60
Imagen III.4	Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): imagen de conjunto del sistema de biodigestión .....	60
Imagen IV.1	El Salvador: proceso de construcción del biodigestor del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador).....	67

## Directorio institucional

### Consejo Nacional de Energía (CNE) de El Salvador (2018)

#### Junta Directiva

- Dra. Luz Estrella Rodríguez  
Ministra de Economía y Presidenta de la Junta Directiva
- Lic. Óscar Samuel Ortiz  
Vicepresidente de la República de El Salvador y Secretario Técnico  
y de Planificación de la Presidencia
- Lic. Lina Pohl  
Ministra de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Arq. Eliud Ayala  
Ministro de Obras Públicas, Transporte y de Vivienda y Desarrollo Urbano
- Lic. Nelson Fuentes  
Ministro de Hacienda
- Lic. Ricardo Arturo Salazar Villalta  
Presidente de la Defensoría del Consumidor
- Ing. Luis Roberto Reyes Fabián  
Secretario Ejecutivo

#### Funcionarios

- Ing. Luis Alonso Castañeda  
Subsecretario Ejecutivo
- Lic. Rocío Aquino  
Directora de Combustibles
- Ing. Edwin Alvarado  
Analista de Combustibles

### Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED) de El Salvador

- Ing. Carlos Mauricio Canjura Linares  
Ministro de Educación
- *Viceministerio de Educación*
- Lic. Francisco Humberto Castañeda Monterrosa  
Viceministro de Educación y Director Nacional de Gestión Educativa (*Ad honorem*)
- *Viceministerio de Ciencia y Tecnología*
- Dra. Erlinda Hándal Vega  
Viceministra de Ciencia y Tecnología

### Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica (GETT)

- Gilberto Alexander Motto García  
Gerente de Educación Técnica y Tecnológica (*Ad honorem*)
- Pedro León Ávila  
Técnico
- Herbert A. Armas  
Técnico

### **Dirección Nacional de Gestión Educativa (DNGE)**

- Renzo Uriel Valencia Arana  
Director Nacional de Gestión Educativa
- Marily Ávila  
Técnica

### **Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez**

- Prof. Gerbert Manuel López Castro  
Director
- Prof. Carlos Mardoqueo Hernández Guardado, Subdirector de la Granja Agropecuaria

#### *Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) de El Salvador*

- Lic. Gladis de Serpas  
Presidente
- Lic. Celia Argentina Trejo de Mendoza  
Directora del Departamento de Desarrollo Local
- Lic. Carlos Ávila  
Gestión Ambiental
- Lic. Carlos Roberto  
Desarrollo Local

### **Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD)**

#### *Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)*

- Lic. Salvador Nieto  
Secretario Ejecutivo de la CCAD
- Ing. Carlos González  
Coordinador del proyecto Uso Racional y Sostenible de la Leña

### **Grupo INCOMER**

- Ing. Juan Carlos Hidalgo  
Consultor
- Ing. Edlin Alfaro  
Consultora

### **Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)**

#### *Sede subregional de la CEPAL en México*

- Hugo Eduardo Beteta  
Director

#### *Unidad de Energía y Recursos Naturales (UERN)*

- Víctor Hugo Ventura Ruiz  
Jefe de la UERN
- Debora Ley, Oficial de Asuntos Económicos
- José Manuel Arroyo Sánchez  
Oficial Asociado de Asuntos Económicos
- Eugenio Torijano Navarro  
Asistente de Investigación
- Rosa Estela Félix  
Consultora



## Abreviaturas

### a) Siglas y acrónimos

ADESCO	Asociación de Desarrollo Comunitario
Agrosania	Agrosania, S.A. de C.V.
ANDA	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
AQUA	Aqua Inversiones, S.A. de C.V.
ASPORC	Asociación Salvadoreña de Porcicultores
BFA	Banco de Fomento Agropecuario
CAESS	Compañía de Alumbrado Eléctrico de San Salvador, una empresa del Grupo AES
CASATUR	Cámara Salvadoreña de Turismo
CEDEMYPE	Centro de Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa
CENDEPESCA	Centro de Desarrollo de la Pesca y la Agricultura
CENTA	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CLESA	Compañía de Luz Eléctrica de Santa Ana, una empresa del Grupo AES
CLUSA	Liga de Cooperativas de los Estados Unidos de América Cooperative League of the United States of America
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNE	Consejo Nacional de Energía
CNPML	Centro Nacional de Producción Más Limpia
COMURES	Corporación de Municipalidades de la República de El Salvador
CORSATUR	Corporación Salvadoreña de Turismo
DEL SUR	Distribuidora Eléctrica del Sur, S.A. de C.V.
DNGE	Dirección Nacional de Gestión Educativa del Ministerio de Educación
EEO	Empresa Eléctrica de Oriente
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIAGRO	Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria
FISDL	Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local
FUNDESYRAN	Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental
FUSADES	Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social
GEF	Global Environment Facility Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GETT	Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica del Ministerio de Educación
GIZ	Agencia Alemana para la Cooperación Internacional Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GLP	Gas licuado de petróleo
GMI	Iniciativa Global de Metano Global Methane Initiative
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

INA	Instituto Nacional de Apastepeque
INNG	Instituto Nacional de Nueva Guadalupe
INU	Instituto Nacional de Usulután
JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional Japan International Cooperation Agency
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MINED	Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología
MITUR	Ministerio de Turismo
NOM	Norma Oficial Mexicana
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OIRSA	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria
ONG	Organización No Gubernamental
PMA	Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRODEMOR	Proyecto de Desarrollo y Modernización Rural
Proleche	Asociación de Productores de Leche de El Salvador
PVC	Policloruro de Vinilo
RSM	Residuos Sólidos Municipales
SECRE	Secretaría de Energía/Comisión Reguladora de Energía
UCA	Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas"
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional United States Agency for International Development
UV	Ultravioleta
WBA	Asociación Mundial de la Bioenergía World Bioenergy Association

## b) Unidades de medida y abreviaturas

cm	centímetro
C/N	relación carbono/nitrógeno
ha	hectárea
Hz	hertz
kcal	kilocaloría
kg	Kilogramo
kg/día	kilogramo por día
km	Kilómetro
kW	Kilowatt
kWh	kilowatt/hora
lb(s)	libra(s)
l/día	litros por día
mm	milímetros
m <sup>2</sup>	metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
m/seg	metros por segundo

msnm	metros sobre el nivel del mar
MS	masa seca
MV	masa volátil
N/ha	nitrógeno por hectárea
ppm	partes por millón
t/m <sup>3</sup>	toneladas por metro cúbico

### c) Compuestos químicos

CH <sub>4</sub>	metano
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	propano
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
H <sub>2</sub> O	agua
H <sub>2</sub> S	ácido sulfhídrico/sulfuro de hidrógeno



## Resumen

En este documento se presentan los resultados de una evaluación de sitios potenciales para implementar proyectos piloto de biodigestores en El Salvador. Fue preparada para el Consejo Nacional de Energía (CNE) de dicho país con el propósito de evaluar la viabilidad de biodigestores de pequeña escala en comunidades y centros escolares. Además de posibilitar el aprovechamiento moderno de la biomasa, la replicabilidad de dichos proyectos y su extensión a zonas rurales del país representa una opción para la diversificación de la matriz energética, con incidencia en la reducción de gases de efecto invernadero (en especial el metano).

A partir de un listado de comunidades y centros escolares sugeridos por el país, un primer paso fue seleccionar los sitios que presentaban las mejores condiciones para el desarrollo de biodigestores. Una empresa especializada efectuó visitas y recopiló información; los datos obtenidos se utilizaron para evaluar la viabilidad de los proyectos en cada sitio.

En el documento se incluyen aspectos generales del biogás y los biodigestores, el proceso seguido para seleccionar y evaluar las comunidades y centros escolares con potencial para implementar los proyectos piloto de biodigestores, la caracterización de los proyectos piloto de los biodigestores seleccionados y otras consideraciones para implementarlos, tales como posibles aplicaciones energéticas, limpieza y compresión del gas y riesgos y seguridad industrial.





## Presentación

Una de las líneas de acción de la política energética de El Salvador es diversificar la matriz energética y utilizar más las fuentes renovables no convencionales tanto en escalas medianas como pequeñas. En el caso de estas últimas, aprovechar el biogás en las zonas rurales es de especial interés tanto por su valor energético como por el apoyo que puede proporcionar en las actividades agrícolas y pecuarias. La digestión anaeróbica de diferentes formas de materia orgánica es una tecnología muy versátil para producir biogás, que puede usarse como fuente de procesos industriales, cocción de alimentos o producción de electricidad. Constituye una fuente de energía renovable y de fácil implementación, en particular en sectores rurales. Sus principales desafíos están relacionados con el suministro de materia prima, la operación y mantenimiento de los biodigestores, y la capacitación y el control de calidad del proceso, incluyendo el uso de todos los productos finales y subproductos de la digestión anaeróbica. Además de utilizar un recurso energético renovable y contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, aprovechar los biodigestores en las zonas rurales coadyuva a mejorar el valor agregado local y el desempeño de las actividades agrícolas.

En el presente documento se evalúa la viabilidad de llevar a cabo proyectos piloto para el aprovechamiento del biogás en comunidades y centros escolares de El Salvador. Fue preparado atendiendo una solicitud del Consejo Nacional de Energía (CNE) de dicho país a la CEPAL. La evaluación fue realizada en 2017, en el marco de las iniciativas de la Cuenta para el Desarrollo de las Naciones Unidas, cuyo objetivo es mejorar las capacidades en las áreas prioritarias de la agenda de desarrollo de los países. Como resultado concreto de este informe, a partir de los resultados de esta evaluación el CNE, con apoyo del SICA y de un cooperante, construyó el primer proyecto piloto en el Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez, de Chalatenango, en el noroeste del país, que empezó a operar a principios de 2019.



## Prólogo

La Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas contempla 17 objetivos cuyo fin es terminar con la pobreza, disminuir la desigualdad y combatir el cambio climático. El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 sobre energía contempla tres metas para contribuir a la Agenda 2030:

- a) Asegurar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiable y modernos.
- b) Incrementar sustancialmente la participación de las energías renovables en la matriz energética global.
- c) Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

Para contribuir al logro de estas metas es necesario realizar y coordinar diversos esfuerzos relacionados con la cobertura eléctrica, el uso de tecnologías y combustibles limpios y eficientes para la cocción de alimentos, las energías renovables convencionales y no convencionales, y diferentes medidas encaminadas a promover una mayor eficiencia energética. Una de las opciones que tiene el potencial de contribuir a la consecución del ODS 7 de la Agenda 2030 es utilizar la biomasa como energético mediante tecnologías que permiten el uso moderno de residuos biomásicos derivados de actividades forestales y agropecuarias y de residuos sólidos urbanos para la generación de combustibles, calor o electricidad.

La generación de energía a partir de biodigestores alimentados con materiales de desecho biodegradables —como residuos vegetales y excretas de ganado— es una de las tecnologías con un amplio potencial para cubrir diferentes necesidades de energía como la cocción de alimentos, calefacción y generación de electricidad. En este sentido, la producción de biogás a pequeña escala mediante biodigestores anaeróbicos alimentados con excretas de ganado se vislumbra como un combustible que puede ser producido de manera sostenible para la cocción de

alimentos en áreas rurales, donde los desechos orgánicos son ampliamente disponibles, contribuyendo así no solo al cumplimiento del ODS 7, sino también a la reducción de gases de efecto invernadero y al desarrollo económico de las comunidades beneficiadas con la instalación de biodigestores.

Como parte de la Política Energética Nacional y en consonancia con la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, el Consejo Nacional de Energía (CNE) de El Salvador tiene entre sus objetivos generales reducir la dependencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes de energía renovables, la cultura de uso racional de la energía y la innovación tecnológica. Para dar cumplimiento a este y otros objetivos de la Política Energética Nacional se contemplan varias líneas estratégicas, incluyendo la diversificación de la matriz energética y el fomento a las fuentes renovables de energía. Los proyectos relacionados con esta línea estratégica deben considerar su viabilidad ambiental, técnica y financiera, pero además deberán tomar en cuenta los beneficios socioeconómicos concretos para las comunidades.

De esta manera, en El Salvador se han desarrollado proyectos de biodigestión anaeróbica que contribuyen al tratamiento de los desechos orgánicos de las granjas avícolas y porcinas, fomentando la diversificación de la matriz energética, la mitigación del cambio climático y el desarrollo socioeconómico. Entre los proyectos desarrollados se destacan la Granja de los Hermanos Jovel en Cabañas con un biodigestor con capacidad de almacenamiento de 717 m<sup>3</sup>, el biodigestor de 1.200 m<sup>3</sup> de Agroindustrias San Julián en Sonsonate y el biodigestor instalado para Avícola Campestre en San Miguel con una capacidad de almacenamiento de 6.600 m<sup>3</sup>.

La consultoría realizada para la Evaluación e Implementación de Proyectos Piloto de Biodigestores en El Salvador contribuye a los esfuerzos del Consejo Nacional de Energía (CNE) para lograr las metas de la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible y a la consecución de los objetivos de la Política Energética Nacional. La evaluación de comunidades y centros educativos con el potencial de llevar a cabo proyectos piloto de biodigestores realizada por el CNE y el Grupo Incomer permite conocer las condiciones necesarias para implementar un biodigestor que aproveche los recursos biomásicos disponibles (desechos orgánicos de origen animal). Este es el caso del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez de Chalatenango, centro educativo en donde se implementó un biodigestor en 2018, luego de la evaluación realizada por el CNE y el Grupo Incomer.

El biodigestor permite generar 25 m<sup>3</sup> de biogás por día (equivalente a un cilindro de gas LP de 25 libras por día) utilizando los 350 kg de estiércol generados diariamente por las vacas, cerdos, conejos y gallinas de la granja del instituto, lo que permite aprovechar el biogás generado en la cocción de alimentos llevada a cabo como parte de las prácticas de los estudiantes. Asimismo, el proceso de producción del biogás permitirá generar tres quintales de fertilizantes que podrán ser utilizados en las hortalizas de la granja del instituto. Además, los estudiantes del instituto se beneficiarán del conocimiento relacionado con el proceso de construcción y mantenimiento del biodigestor que, a su vez, contribuye a disminuir el uso de derivados del petróleo.



La experiencia obtenida a través de la evaluación de comunidades y centros educativos como potenciales beneficiarios de biodigestores y la implementación del biodigestor en la institución educativa de Chalatenango servirá para continuar con los esfuerzos de universalizar los servicios energéticos modernos —especialmente en las áreas rurales— y aumentar la participación de las energías renovables, en particular el uso moderno de la biomasa como energía, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de las comunidades, a la disminución de los gases de efecto invernadero y a una menor dependencia de los hidrocarburos.



## Introducción

El biogás está constituido principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ). El metano es un gas de efecto invernadero (GEI) que representa alrededor del 20% de las emisiones globales<sup>1</sup>. Las emisiones de  $\text{CH}_4$  contribuyen a un tercio del calentamiento antropogénico actual. El metano se emite durante la producción y transporte de carbón, petróleo y gas natural, pero también por la descomposición de la materia orgánica en los vertederos o tiraderos de residuos sólidos municipales, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en agroindustrias y granjas de diversos tipos, así como por la fermentación entérica, y por la descomposición de la materia orgánica de los pantanos.

Cuando no son tratados, los residuos orgánicos se convierten en un problema y en un foco de infección, producen lixiviados que pueden contaminar mantos acuíferos y emiten gases que afectan la salud y el medio ambiente. La captura y el aprovechamiento del  $\text{CH}_4$  derivado de la descomposición de la materia orgánica contribuirá al logro de varios de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), al coadyuvar a mejorar la economía familiar (ODS 1), incrementar la producción agrícola (ODS 2) y mejorar la salud y bienestar, porque evita la contaminación del agua, mejora la calidad del aire y combate el cambio climático (ODS 3, 6, 11, 13 y 15); también permite el acceso a fuentes de energía renovable (ODS 7). Aunado a lo anterior el uso del biogás contribuirá a reducir la dependencia energética y a conservar los bosques, fortalecer la economía nacional, mejorar la calidad de vida de las personas que viven en las comunidades rurales y generar nuevas opciones de empleo si se tiene una adecuada capacitación para construir y dar mantenimiento a los biodigestores; además, amplía las oportunidades de producción y uso de energía renovable.

El biogás es una fuente de energía renovable de fácil implementación, principalmente en zonas rurales; no solo produce metano, también se producen biofertilizantes, se puede hacer una

---

<sup>1</sup> Global Methane Initiative. Iniciativa global de metano: una visión general [en línea] [www.globalmethane.org/documents/GMI\\_Initiative-Factsheet\\_Spanish.pdf](http://www.globalmethane.org/documents/GMI_Initiative-Factsheet_Spanish.pdf).

mejor disposición de los residuos orgánicos en las ciudades y en el campo, y mejorar el manejo y disposición de las aguas residuales. El biogás puede ser empleado como combustible en la cocción de alimentos, para calentamiento de agua, iluminación, generación de electricidad, entre otros. De los países de la subregión solo Nicaragua, la República Dominicana y México están asociados a la Iniciativa Global de Metano (Global Methane Initiative, GMI por sus siglas en inglés), que tiene como objetivo, en el corto plazo, disminuir las emisiones globales de metano. Respecto al biogás, la GMI está dedicada a disminuir el impacto del cambio climático a través de la reducción, recuperación y uso del CH<sub>4</sub> en el sector agroindustrial, residuos sólidos municipales (RSM) y aguas residuales.

En la agricultura las principales fuentes de emisión de CH<sub>4</sub> son la fermentación entérica del ganado, la gestión del estiércol, el cultivo de arroz y la quema de desechos agrícolas. El manejo y disposición de los RSM son otra fuente de emisión de CH<sub>4</sub>. Una forma de reducirlo es recolectarlo y usarlo para alimentar calderas, motores u otros equipos, o alimentar directamente los RSM a instalaciones de conversión de residuos en energía y separar las fracciones orgánicas de los RSM para alimentarlos a biodigestores anaeróbicos o a instalaciones de compostaje.

En la recolección, manejo y tratamiento de aguas residuales se produce CH<sub>4</sub> al descomponerse la materia orgánica; existen técnicas para reducirlo o recuperarlo y utilizar el gas producido. La GMI puso a disposición de los países de México y Centroamérica las herramientas Biogas Wastewater Assessment Technology Tool (BioWATT) y el Modelo de Biogás Centroamericano. El primero permite hacer una evaluación preliminar rápida de los proyectos de conversión de aguas residuales en energía y el segundo hacer estimaciones de generación de los RSM, herramientas que deberán ajustarse a las condiciones particulares de cada país.

En los países de la subregión las políticas implementadas para el aprovechamiento del biogás son muy diversas; solo Costa Rica tiene desde hace años un programa de biogás. En Guatemala existen proyectos de generación eléctrica mediante biogás obtenido de residuos sólidos urbanos y de desechos de la palma africana. En Honduras se realizó un estudio de factibilidad para un programa de biogás, en donde se encontró que existen de 500 a 600 plantas de biogás domésticas instaladas. En Nicaragua se implementó el Programa de Desarrollo del Mercado de Biogás para zonas ganaderas del país para un período de financiación de 2012-2017 y se encontraron 60.000 clientes potenciales.

En Costa Rica, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) brinda asesoría técnica al sector agropecuario y agroindustrial para la generación de biogás y producción de energía eléctrica y térmica a través del Programa de Biogás. En Panamá se instaló el primer proyecto piloto para producir biogás para transformar los desechos orgánicos en 2015. Se espera que el biodigestor procese alrededor de 20,5 kg de residuos orgánicos por día y genere aproximadamente 300 kW de energía mensualmente. Finalmente, en la República Dominicana existe un proyecto de biogás en el vertedero de Duquesa, en el que se capta y quema el biogás, y se pretende que en el futuro se genere electricidad.

En 2016 se creó la Asociación Mundial de Biogás (World Biogas Association, WBA por sus siglas en inglés), durante la realización de la COP 22 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), tras la adopción de una visión

compartida para transformar vidas para 2030 a través de los ODS por parte de las Naciones Unidas. La WBA tiene como objetivo extender el uso de las tecnologías asociadas al biogás, el biometano y la digestión anaerobia para reforzar la lucha contra el cambio climático y consolidar una economía baja en carbono, pero sobre todo demostrar a todos, en particular a los gobiernos y municipios que desarrollan políticas para satisfacer las necesidades energéticas de su país, que necesitan poner al biogás en el centro de sus planes para alcanzar los compromisos de cambio climático y los ODS de las Naciones Unidas.

La WBA señala que la digestión anaeróbica y el uso del biogás contribuyen al logro de al menos nueve de los 17 ODS que los países de las Naciones Unidas se comprometieron a alcanzar antes de 2030, no solo generando energía baja en carbono y biofertilizante, sino también por la reducción de emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de los desechos alimenticios y agrícolas, al proporcionar energía y seguridad alimentaria, mejorar la gestión de residuos, sanear el medio ambiente y reducir la pobreza y el hambre<sup>2</sup> (véase el recuadro 1).

**Recuadro 1**  
**Contribución del biogás a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**

**ODS 2.** Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición, así como promover la agricultura sostenible.

- Restaurar los suelos a través del reciclaje de nutrientes, materia orgánica y carbono.
- Aumentar el rendimiento de los cultivos mediante el uso de biofertilizantes del digestato rico en nutrientes.
- Recircular el fósforo, que es esencial para el crecimiento de las plantas.

**ODS3.** Garantizar una vida sana y poner el bienestar para todas y todos en todas las edades.

- Reducir la contaminación del aire del área de cocción al sustituir el carbón y madera por biogás.
- Tratar y reciclar los desechos orgánicos para reducir los malos olores y la propagación de enfermedades.

**ODS 5.** Lograr la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.

- Reducir la carga de recolectar leña para mejorar la calidad de las vidas de las mujeres y niños.

**ODS 6.** Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

- Descentralizar el tratamiento de biosólidos en comunidades remotas y rurales para reducir los malos olores y la propagación de enfermedades.
- Estabilizar y reciclar los biosólidos mediante digestión anaeróbica para su incorporación a la tierra.
- Reducir la carga de carbono de las aguas residuales para disminuir la contaminación de los cuerpos de agua.

**ODS 7.** Garantizar el acceso a una energía asequible, segura sostenible y moderna para todos.

- Reducir la dependencia de combustibles fósiles, al utilizar el biogás.
- Utilizar desechos y cultivos producidos localmente para generar energía en comunidades rurales y remotas.
- Almacenar biogás para producir energía cuando sea necesario.

**ODS 9.** Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.

- Mejorar la autosuficiencia y sostenibilidad de las industrias extrayendo la energía de sus propios efluentes.
- Colaborar industriales y agricultores para obtener beneficios mutuos.
- Generar empleos de construcción a corto plazo y empleo de manufactura y mantenimiento de los equipos a largo plazo.
- Fomentar el crecimiento de las microempresas mediante el suministro de electricidad.

**ODS 11.** Ciudades y comunidades sostenibles.

- Capturar emisiones de vertederos y de plantas de tratamiento de aguas residuales y reciclar los RSM.

<sup>2</sup> WBA. *The contribution of Anaerobic Digestion and Biogas towards achieving the UN Sustainable Development Goals.*



**ODS 13.** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

- Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el reemplazo de los combustibles fósiles por el biogás y por el uso del biofertilizante en vez de fertilizantes comerciales.
- Reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> y óxido de nitroso (N<sub>2</sub>O) del estiércol de ganado.
- Capturar las emisiones de los vertederos.
- Reducir la deforestación mediante el reemplazo de carbón vegetal y leña por el biogás.

**ODS 15.** Promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y frenar la pérdida de la diversidad biológica.

- Recircular nutrientes y materia orgánica de desechos orgánicos a través de la digestión anaeróbica y devolverlo al suelo en forma de biofertilizante.
- Sustituir la leña por el biogás en el sector doméstico, y reducir con ello la deforestación.

**Fuente:** CEPAL, con base en información de la Asociación Mundial de Biogás. *The contribution of Anaerobic Digestion and Biogas Towards Achieving the UN Sustainable Development Goals*; WBA, 2007.

En El Salvador hay poco más de 100.000 familias en el área rural que no tienen acceso al servicio eléctrico y en general a los servicios básicos como agua potable, salud, educación y oportunidades económicas. El uso sostenible y eficiente de la leña y residuos agrícolas, así como el aprovechamiento de otras fuentes de biomasa permitirá mejorar la calidad de vida de estas personas y el biogás es una opción que se ha usado en países como la India y China, y en países desarrollados tales como los Estados Unidos, así como en los países de la Unión Europea.

Los primeros estudios de biogás en El Salvador datan de la década de 1960. La crisis energética de 1973 reavivó el interés de su uso y las investigaciones han continuado hasta la actualidad y en años recientes se ha impulsado con el fin de incorporar al biogás en la matriz energética. En la actualidad se produce electricidad a partir del biogás proveniente del relleno sanitario de Nejapa y de las excretas de animales en las empresas Agrícola Ganadera Onza, S.A. de C.V. (Agrícola Onza) y Agrosania, S.A. de C.V. (Agrosania). La capacidad de la planta de generación del relleno sanitario de Nejapa es de 6,3 MW con posibilidad de incrementarse a 10 MW.

En cuanto a los desechos de animales, la capacidad instalada de generación eléctrica es de 500 kW. Agrícola Onza opera un biodigestor industrial de 2.300 m<sup>3</sup> de capacidad para producir 1.700 m<sup>3</sup>/día de biogás y alimentar una planta de generación de 350 kW para producir 300 kW de energía eléctrica; Agrosania opera un biodigestor industrial de 1.200 m<sup>3</sup> de capacidad para una planta de generación de 150 kW. El potencial de expansión eléctrica de los rellenos sanitarios es de 25 MW hacia 2026, en tanto que la capacidad estimada de producción de energía usando estiércol de ganado es de alrededor de 84 MW en total; en el caso de los desechos de cerdos es de 2,4 MW y de los desechos de aves de corral de 96 MW.

En El Salvador existen organizaciones y particulares que producen y utilizan biogás, entre las que se encuentran La Constancia, S.A. de C.V., CAFECO, S.A. de C.V., la Granja San José y la Hacienda Miravalle. Otros proyectos de biodigestión anaeróbica son el de la Granja de los Hermanos Jovel, con una capacidad de almacenamiento de biogás de 717 m<sup>3</sup>, la Avícola Campestre con 6.600 m<sup>3</sup> de capacidad y Agroindustrias San Julián, con 1.200 m<sup>3</sup> de capacidad (CNE, Energías Renovables, Biomasa).

# Capítulo I

## Marco teórico

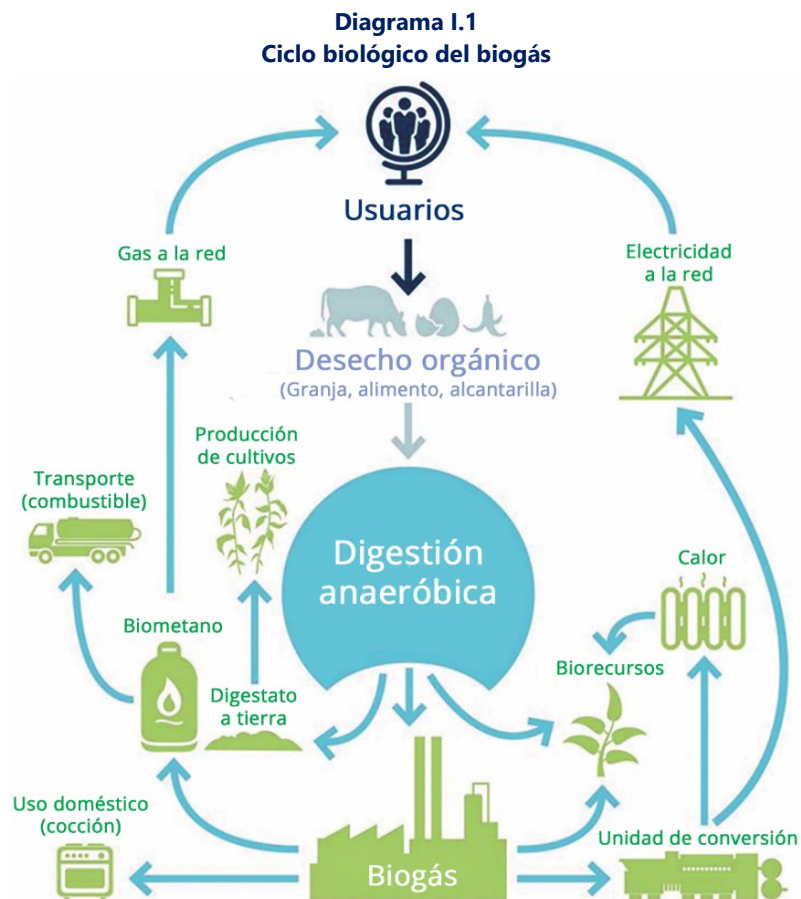
La fermentación anaeróbica es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte del ciclo biológico, como en el caso del gas de los pantanos que brota de las aguas estancadas que tienen materia orgánica, el gas natural metano que se escapa de los yacimientos petroleros, así como el gas producido por el tracto digestivo de los rumiantes.

### A. Generalidades del biogás

#### 1. ¿Qué es el biogás?

El biogás es un gas compuesto principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y bióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), que se produce por la degradación bacteriana de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (digestión anaeróbica), que puede ser utilizado como combustible. Al reciclar los desechos orgánicos de alimentos, residuos agrícolas, cultivos energéticos, pasto, residuos de cultivos, entre otros., la digestión anaeróbica extrae la energía en forma de biogás y el resto se convierte en biofertilizante (véase el diagrama I.1).

El biogás fue reportado por primera vez en el siglo XVII por Robert Boyle y Stephen Hale, quienes notaron que al perturbar los sedimentos en lagos y ríos se liberaba gas inflamable. En 1808, Sir Humphry Davy determinó que había metano presente en los gases liberados por el estiércol vacuno. El primer digestor anaeróbico fue construido por una colonia de leproso en Bombay en la India en 1859 y en 1895 en Exeter, Inglaterra se usó para las lámparas de gas a base del gas de alcantarillas y para automóviles de la época. En 1907 en Alemania se patentó el tanque Imhoff, una versión temprana del digestor anaeróbico. La investigación de digestión anaeróbica dio inicio a principios de 1930.



**Fuente:** World Biogas Association, *Global Food Waste Management: An Implementation Guide for Cities*. Full Report; Food, Water and Waste Programme, 2018.

Después de la Segunda Guerra Mundial comenzaron a difundirse los biodigestores en áreas rurales, tanto en Europa como en China y la India, que se convirtieron en líderes en la materia, situación que se interrumpió por el fácil acceso a los combustibles fósiles. Con la crisis energética de la década de 1970 se reinició la investigación y uso de biodigestores en todo el mundo, incluyendo a buena parte de los países de América Latina, aunque su uso se estancó de nuevo debido al uso de los combustibles fósiles. En la actualidad existen más de 15.000 plantas comerciales de biogás en Europa, América y Asia; esta es una de las industrias de biogás de mayor crecimiento en el mundo. Existen diferentes tipos de plantas de biogás para diferentes sustratos: plantas de biogás agrícolas, plantas de tratamiento de aguas de desecho, plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales, plantas industriales y plantas para recuperar el gas de rellenos sanitarios (véase el recuadro I.1).

### **Recuadro I.1 Tipos de plantas de biogás**

#### **Plantas de biogás agrícolas**

Estas plantas procesan materia prima de origen agrícolas: estiércol de animales, residuos vegetales y vegetales, cultivos energéticos, residuos de la industria alimentaria y pesquera.

Los biodigestores son simples, baratos, fáciles de operar y mantener, pueden construirse con materiales locales. Los biodigestores empleados para uso agrícola son el tipo chino, el tipo hindú, y el de desplazamiento, el cual es un reactor cilíndrico horizontal (plantas de biogás escala familiar de muy pequeña escala - capacidad).

Los biodigestores son de diferentes tamaños, diseños y tecnología, todos tienen un tanque de prealmacenamiento de estiércol, cerca del digestor, que se bombea al digestor, el cual es un tanque hermético de acero o cemento, aislado para mantener una temperatura del proceso constante, pueden ser horizontales o verticales, generalmente provistos con sistemas de agitación. La planta puede incluir equipos para prealmacenar la biomasa fresca, almacenar la biomasa para el digestor y para el biogás, y contar con la unidad de transformación del biogás (plantas de biogás escala granja: de pequeña, media o gran escala).

Digieren conjuntamente el estiércol animal con otros cosustratos adecuados (residuos digestibles de la agricultura, industria de alimentos y pescado, residuos domésticos orgánicos, lodo de aguas residuales. Se usan principalmente en Dinamarca y en regiones con cría intensiva de animales (plantas de codigestión centralizada o conjunta: de mediana a gran escala).

#### **Plantas de tratamiento de aguas de desecho**

La digestión anaeróbica se usa para el tratamiento de lodos primarios y secundarios resultado del tratamiento aeróbico de las aguas residuales. La digestión anaeróbica se usa para estabilizar y reducir la cantidad final de lodo.

#### **Plantas de tratamiento de residuos sólidos municipales**

En muchos países los residuos se recogen y se incineran en grandes plantas de energía. La separación de la fracción orgánica de los desechos tiene un gran potencial para producir biogás.

#### **Plantas industriales de biogás**

El proceso anaeróbico es muy usado para el tratamiento de aguas industriales de desecho. Se usa en el procesamiento de alimentos (enlatado de verduras, fabricación de leche, queso, mataderos, procesamiento de la papa), industria de las bebidas (cervecerías, refrescos, destilerías, café, zumos de frutas), fabricación de productos industriales (papel y cartón, caucho, productos químicos, almidón, productos farmacéuticos).

#### **Plantas de recuperación del gas de los rellenos sanitarios y vertederos**

Las modalidades de estos procesos son para recuperar el metano y quemarlo o recuperar el metano para generar energía eléctrica. El sistema puede considerarse una gran planta anaeróbica, con la diferencia que el proceso de descomposición es discontinuo y depende de la edad del vertedero. El relleno se puede manejar como un biorreactor diseñado para acelerar la conversión de sólidos en metano, el cual está provisto de un sistema para recolectar los lixiviados y el biogás.

**Fuente:** Al Seadi T. y otros, *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs, 2008.

## **2. ¿Cuáles son las propiedades del biogás?**

El biogás es una mezcla de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , la cantidad de  $\text{CH}_4$  contenida en el biogás depende del sustrato y las condiciones en las que se llevó a cabo la biodigestión, por lo que su contenido varía mucho; algunos autores señalan un rango de  $\text{CH}_4$  de 55 a 70% (FAO, 2011). En comparación con el gas natural que también es un gas que contiene principalmente  $\text{CH}_4$ , el contenido mínimo de metano en el gas natural de acuerdo con la norma oficial mexicana es de 83%<sup>3</sup>. El porcentaje de metano, principal componente del biogás es variable (véase el cuadro I.1).

<sup>3</sup> NOM-001-SECRE-2010 Especificaciones del gas natural, Diario Oficial de la Federación, 19 marzo de 2010.

**Cuadro I.1**  
**Equivalente de energía: biogás y otros combustibles fósiles**

Propiedades	Biogás <sup>a</sup>	Gas natural	Gas propano	Gas metano
Valor calorífico (KWh/m <sup>3</sup> )	7,00	10,00	26,00	10,00
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	1,08	0,700	2,01	0,72
Densidad con respecto al aire	0,81	0,54	1,51	0,55
Límite de explosión (porcentaje de gas en el aire)	06-12	5-15	02-10	5-15
Temperatura de encendido (°C)	687	650	470	650
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0,31	0,39	0,42	0,47
Requerimiento teórico de aire (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	6,60	9,50	23,90	9,50

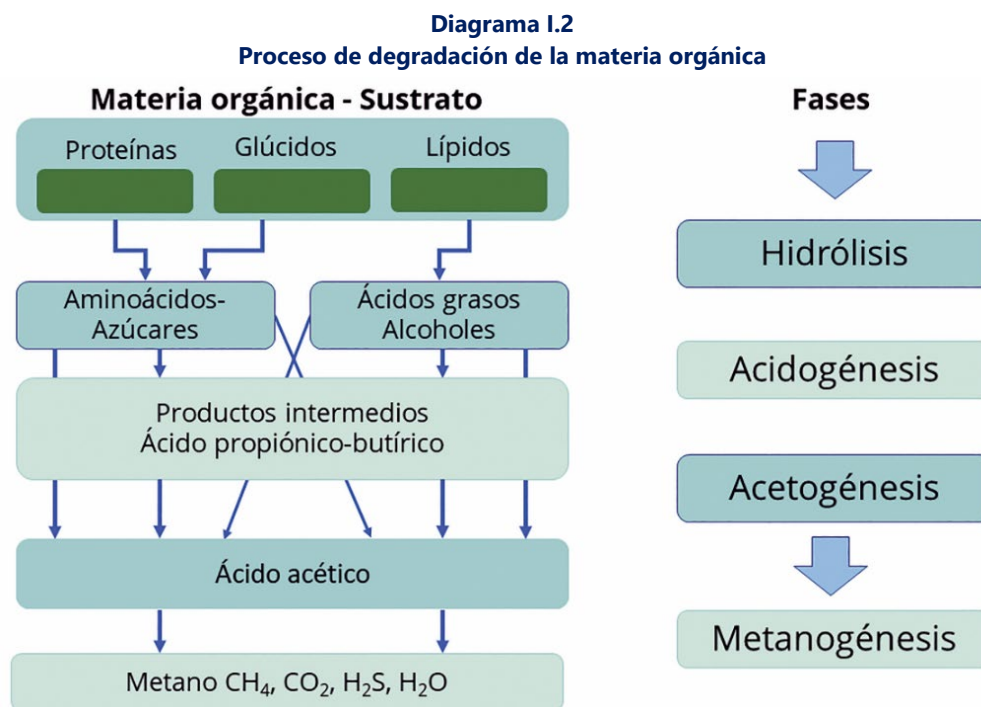
**Fuente:** PNUD, FAO y GEF, *Manual de Biogás*, Santiago, Chile, 2011.

<sup>a</sup> Composición del biogás CH<sub>4</sub>(65%), CO<sub>2</sub> (35%).

## B. La biodigestión

A lo largo de los años los procesos de digestión anaeróbica se han especializado, abarcando actualmente varios campos de aplicación (véase el recuadro I.1). Los objetivos buscados han sido diferentes, y hasta la actualidad los objetivos se han alineado en todos los procesos para dejar de emitir metano a la atmósfera con el fin de evitar el calentamiento global y utilizarlo como fuente de energía renovable, proteger el ambiente y los recursos hídricos, y ayudar a alcanzar los ODS.

### 1. El proceso de biodigestión anaeróbica



**Fuente:** Elaboración propia.

La digestión anaeróbica como proceso microbiológico y bioquímico de descomposición anaeróbica de la materia orgánica transcurre en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (véase el diagrama I.2). Para que exista la producción de  $\text{CH}_4$  como parte del proceso de degradación anaeróbica no debe haber oxígeno, ya que de lo contrario sería imposible para las bacterias metanogénicas crecer, reproducirse y alimentarse eficientemente de la materia orgánica disponible en el medio

#### a) La hidrólisis

Es la primera etapa del proceso de digestión anaeróbica; las enzimas extracelulares producidas por las bacterias fermentativas toman la fracción de materia orgánica formada por especies poliméricas carbonadas complejas de carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos, y las fragmentan en moléculas carbonadas más simples con cadenas más cortas de compuestos solubles, que resultarán metabolizadas por las bacterias anaerobias en el interior de las células —ácidos orgánicos, aminoácidos mono y oligosacáridos, polialcoholes (por ejemplo, glucosa, galactosa, arabinosa, manosa glicerol, purinas, piridinas, y aminoácidos)—, con lo que se liberará hidrógeno y dióxido de carbono.

#### b) La acidogénesis

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

#### c) La acetogénesis y metanogénesis

La acetogénesis constituye la tercera etapa del proceso de digestión anaeróbica. En la misma, los ácidos grasos volátiles son transformados en sustratos propios de la metanogénesis, acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas.

#### d) La metanogénesis

Finalmente, en la última etapa el hidrógeno y el acetato son transformados en una mezcla de metano y dióxido de carbono (metanogénesis). En esta etapa se genera metano y se acumula en la cámara del digestor para que pueda ser utilizado en diversas aplicaciones. Las relaciones en la concentración del  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en el biogás podrán variar dependiendo de varios factores, entre ellos el estado de madurez del biodigestor, los niveles de alimentación de la materia orgánica, el tipo de materia orgánica, entre otros.

## 2. Los biodigestores

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor anaeróbico), dentro del que se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales, desechos vegetales, entre otros), en determinada dilución

de agua para que, a través de la fermentación anaerobia, se produzcan biogás y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

## C. Tamaño y tipo de biodigestores

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

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

### 1. Los biodigestores domésticos

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



**Fuente:** Rotoplas, biodigestor autolimpiable.

### 2. Los biodigestores industriales

Estos biodigestores están compuestos por membranas de polietileno de alta densidad (HDPE) y caucho flexible (EPDM), tanques de concreto, acero y poliestireno expandido. Cuentan con equipos complementarios como trituradores y mezcladores de residuos, sistemas de agitación internos y externos, sistemas de extracción de lodos y separadores de sólidos, equipos de control



de proceso, cortallamas y válvulas de seguridad, sistema de limpieza de biogás y eliminación de H<sub>2</sub>S, generadores de energía, estaciones elevadoras de voltaje y equipos portátiles de medición.

**Imagen I.2**  
**Biodigestores industriales**



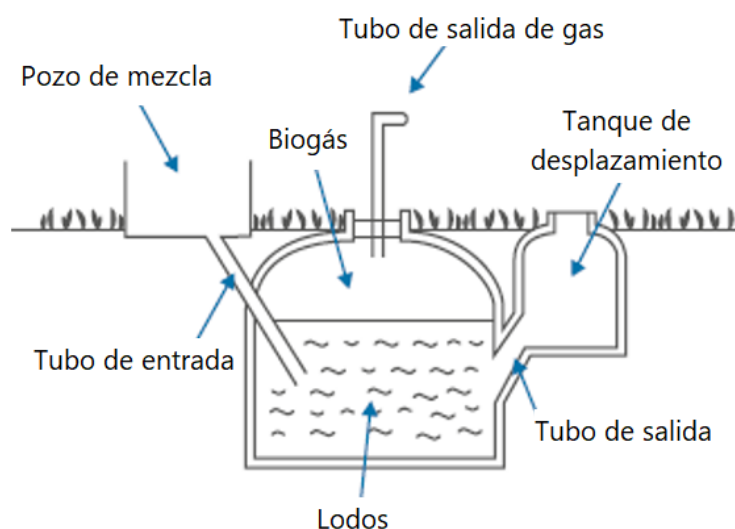
**Fuente:** Avícola Campestre, Biodigestor de Agrícola Campestre ubicado en El Salvador [en línea] <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2581/avacola-campestre-el-axito-se-debe-al-compromiso-de-su-gente-y-no-a-la-tecnologia/>.

### 3. Los biodigestores de pequeña escala

Estos biodigestores son de tres tipos: a) de domo fijo, desarrollado en China; b) de tambor flotante, desarrollado en la India; y c) de balón o digestor de bolsa, desarrollado en los países de América Latina (véase el diagrama I.3).

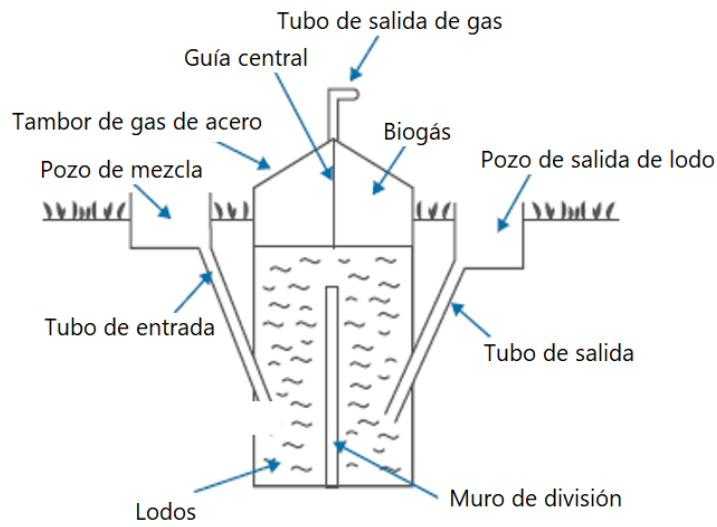
**Diagrama I.3**  
**Biodigestores de pequeña escala**

*a) Biodigestor de domo fijo*

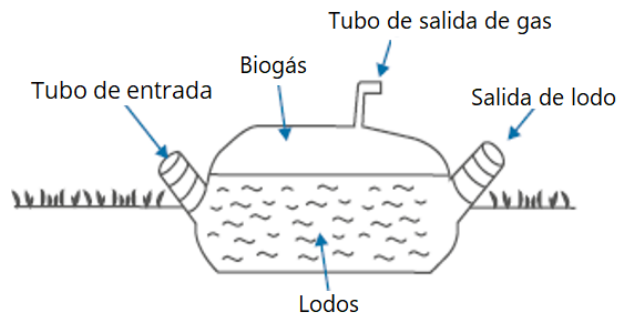




b) Biodigestor de tambor flotante



c) Biodigestor de bolsa

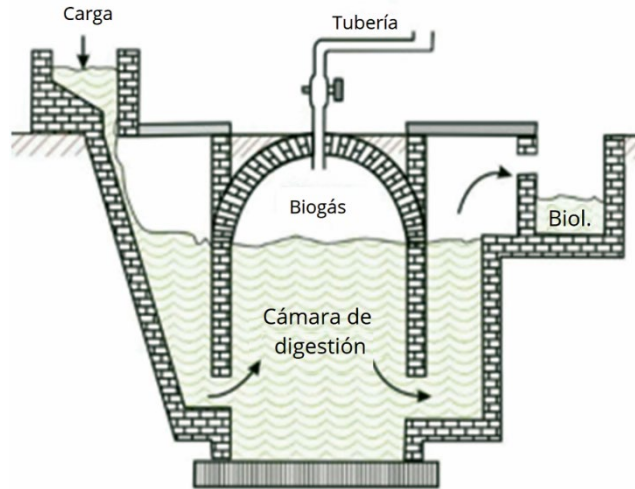


**Fuente:** International Renewable Energy Agency (IRENA), *Biogas for Domestic Cooking*, 2017.

### a) Biodigestor de domo fijo

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. Al iniciar el proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga que llega a la parte media del digestor (véase el diagrama I.4). Se compone por caja de alimentación, cámara de alimentación, cámara de digestión, tuberías de descarga, cámara de descarga y caja de captación de efluentes. Entre sus características se observa que es necesaria la construcción de obra civil y el biodigestor es propenso a rajaduras y a que haya escapes de biogás.

**Diagrama I.4**  
**Biodigestor de domo fijo**

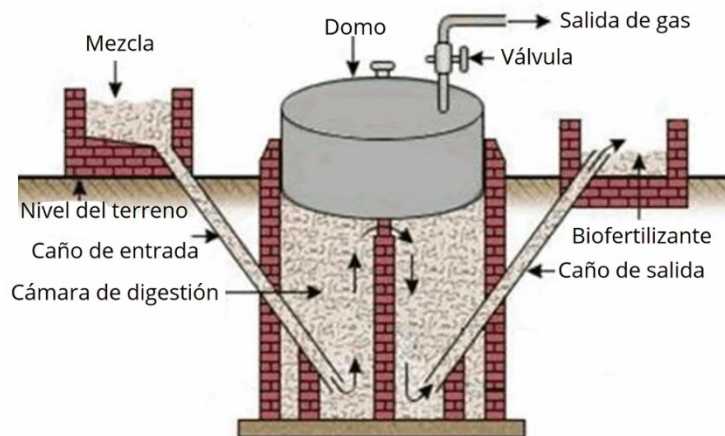


**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

### b) Biodigestor de tambor flotante

Es un biodigestor doméstico; consiste en un tanque reactor vertical que tiene instalada una campana flotante recolectora de biogás. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 300 mm de columna de agua. Con la campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. En este biodigestor se alcanzan productividades volumétricas (PV) de 0,5 a 1 m<sup>3</sup> de biogás/volumen de reactor por día. Un esquema de dicha instalación se muestra en el diagrama I.5.

**Diagrama I.5**  
**Biodigestor de tambor flotante**



**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

### c) Biodigestor de balón o de bolsa

Este biodigestor consta de una bolsa de plástico que se conecta a un tubo de entrada por donde se introduce el sustrato y una tubería de salida que elimina el estiércol líquido; un tercer tubo se coloca en la parte superior de la bolsa que funciona como tubo de salida del biogás. Se usa en pequeñas comunidades, explotaciones pecuarias o agroindustriales. Se compone por separador de sólidos, caja y tubería de alimentación, biodigestor tipo bolsa o portátiles con estructura de aluminio, tuberías de descarga, zanjas de infiltración o lagunas de descarga y sistema de captación de biogás con sus accesorios. Es de baja necesidad de obra civil y se debe hacer buena selección del material. (véase la imagen I.3).

**Imagen I.3**  
**Biodigestor de balón o de bolsa**



**Fuente:** Elaboración propia.

## D. Rendimiento de biogás por tipo de biomasa

El rendimiento en biogás, es decir, el volumen producido por unidad de material potencialmente digerible también es muy variable y depende de la composición de la materia prima pero también de las condiciones del proceso: temperatura, velocidad de alimentación, tiempo de retención y tipo de digestor. Los datos del cuadro I.2 y del diagrama I.6 muestran las cantidades y composición del gas obtenido según la naturaleza del material digerido en condiciones mesofílicas.

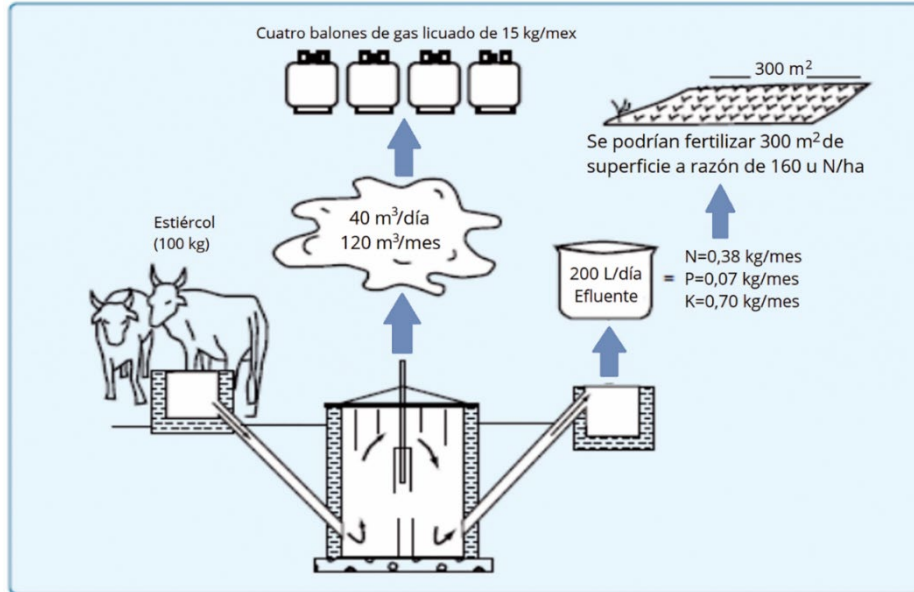
**Cuadro I.2**  
**Rendimiento de biogás por tipo de biomasa**

Estiércol	Disponibilidad	Relación	Volumen de biogás	
	kg/día <sup>a</sup>	C/N	m <sup>3</sup> /kg húmedo	m <sup>3</sup> /día/año
Bovino (500 kg)	10,00	25:1	0,04	0,400
Porcino (50 kg)	2,25	13:1	0,06	0,135
Aves (2 kg)	0,18	19:1	0,08	0,014
Ovino (32 kg)	1,50	35:1	0,05	0,075
Caprino (50 kg)	2,00	40:1	0,05	0,100
Equino (450 kg)	10,00	50:1	0,04	0,400
Conejo (3 kg)	0,35	13:1	0,06	0,021
Excretas humanas	0,40	3:1	0,06	0,025

**Fuente:** M.T. Varnero y J. Arellano, *Aprovechamiento Racional de Desechos Orgánicos. Informe Técnico*, Ministerio de Agricultura-Fondo de Investigación Agropecuaria y Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1990.

<sup>a</sup> El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

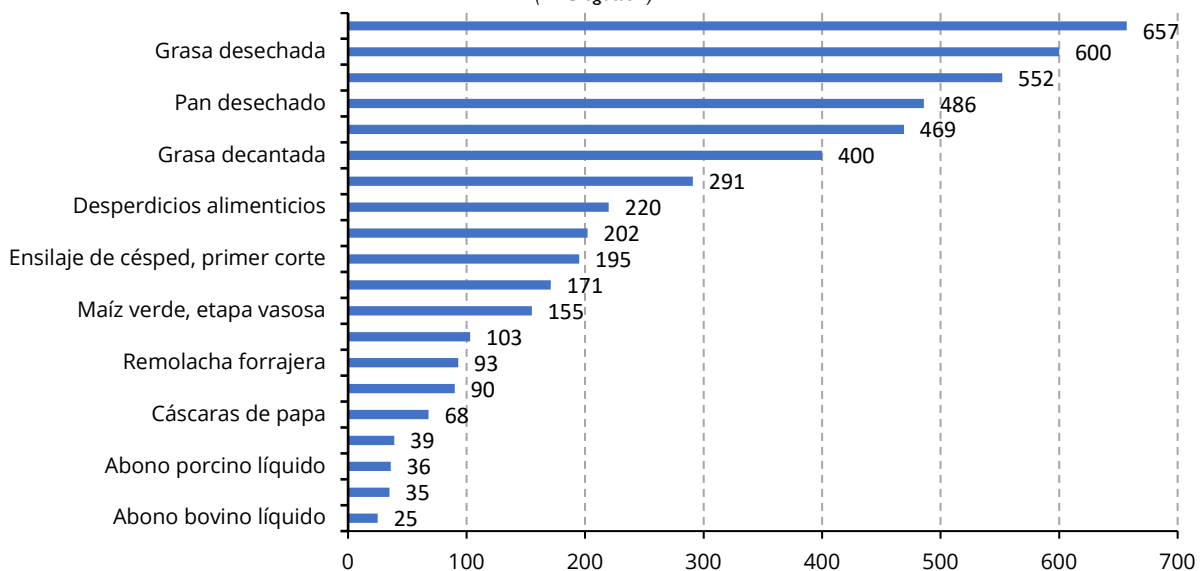
**Diagrama I.6**  
**Rendimiento de biogás**



**Fuente:** M.T. Varnero y J. Arellano, *Aprovechamiento Racional de Desechos Orgánicos. Informe Técnico*, Ministerio de Agricultura-Fondo de Investigación Agropecuaria y Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1990.

El biogás no solo se obtiene de la digestión anaeróbica del estiércol del ganado, animales de granja y excretas humanas, también se obtiene de residuos de cultivos; cultivos energéticos; alimentos domésticos, desechos de jardín, aguas residuales industriales, lodo municipal de aguas residuales y la fracción orgánica de residuos sólidos municipales (véase el gráfico I.1).

**Gráfico I.1**  
**Rendimiento potencial de biogás por tipo de biomasa**  
(m³ biogas/tm)



**Fuente:** World Biogas Association, *Global Food Waste Management: An Implementation Guide for Cities. Full Report*, Food, Water and Waste Programme, 2018.

## E. Posibles aplicaciones energéticas

La finalidad de la captación de biogás por medio de digestores es el aprovechamiento energético del mismo, para utilizar como combustible para accionar motores de combustión interna, quemadores y demás fines calóricos, así como para lámparas de iluminación. Existe actualmente una variedad de dispositivos de aplicación del biogás que van desde simples hornillas hasta microturbinas generadoras de electricidad.

### 1. Motores

El desarrollo de motores que utilizan biogás como ha llevado al uso de aplicaciones como el bombeo, riego y transmisión de potencia mecánica. Una aplicación muy útil con motores accionados por medio de biogás es la de desplazamiento de líquidos y hasta sólidos por medio de una motobomba.

### 2. Quemadores

El uso calórico es una de las aplicaciones directas de la producción de biogás. Se utiliza para calentar agua, alimentos, crías y cualquier fin que requiera este tipo de aplicación (después de limpiarlo del CO<sub>2</sub> contenido en el biogás). Debido al valor calórico que este posee, que es de 4.700 a 5.000 kcal/m<sup>3</sup>, salvo por el contenido de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), se puede considerar como un combustible ideal. La aplicación de tipo calórico más común es la cocción de alimentos por medio de quemadores (hornillas), cocinas, calentadores, entre otros. (véase la imagen I.4).

**Imagen I.4**  
**Parrilla con doble quemador a base de biogás**



**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

### 3. Lámparas y calentadores

Los calentadores y la iluminación también se han convertido en una opción para aplicaciones del biogás (véase la imagen I.5).



**Imagen I.5**  
**Calentador (izquierda) y lámpara (derecha), ambos a base de biogás**

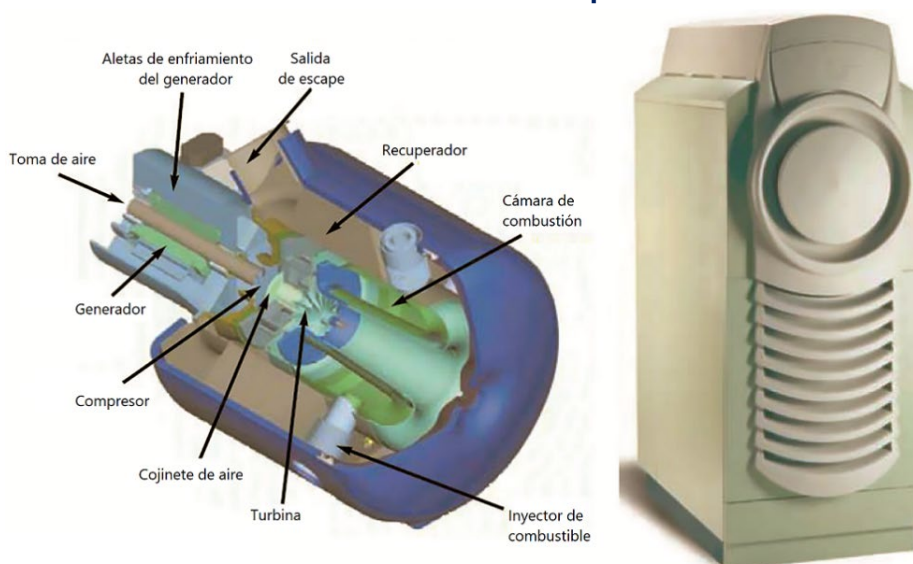


**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, Tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

#### 4. Microturbinas

Las microturbinas son uno de los tipos de aplicaciones para el biogás más recientes, son prácticas, un recurso renovable muy innovador y eficiente en la generación de energía eléctrica, con las que se obtienen bajas emisiones de gases de efecto invernadero, poca contaminación de ruidos y bajo costo de mantenimiento (véase la imagen I.6).

**Imagen I.6**  
**Generador de microturbina Capstone C30**



**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, Tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

## F. Acondicionamiento y medidas de seguridad sobre el biogás

### 1. Limpieza y comprensión del biogás

Las razones principales para purificar el biogás son la necesidad de satisfacer los requisitos de las aplicaciones del biogás, para aumentar el valor calorífico del biogás y para estandarizar la calidad del biogás.

#### a) Remoción del dióxido de carbono

La eliminación del CO<sub>2</sub> aumenta el valor calorífico del biogás y lleva a una calidad consistente del biogás, similar al gas natural. Al usar técnicas de remoción del CO<sub>2</sub>, es importante mantener bajas pérdidas de metano por razones económicas y ambientales. Hay diversos métodos de remoción, los más comunes son la absorción o adsorción, la separación criogénica y la separación de membrana. En los procesos de absorción, el CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S son simultáneamente removidos debido a la alta polaridad del CO<sub>2</sub> y el H<sub>2</sub>S y la no polaridad del CH<sub>4</sub>. El agua es el solvente más común para purificar el biogás comprimido (4 a 7 bares).

#### b) Remoción de H<sub>2</sub>S

El método más simple para la desulfuración es agregar oxígeno o el aire directamente en la cámara de digestión. Con este método, el nivel de H<sub>2</sub>S se puede reducir por arriba del 95% a niveles menores de 50 ppm, sin embargo, depende de la temperatura, lugar y cantidad de aire agregado y del tiempo de reacción. El nivel de H<sub>2</sub>S se puede reducir de 3.000 a 5.000 ppm hasta 50 a 100 ppm. El amoníaco es separado al mismo tiempo.

#### c) Remoción de trazas de gases

Una cantidad significativa de siloxanos se encuentran en las aguas residuales y no se descomponen en una planta de tratamiento convencional. Aunque una gran parte se volatiliza a la atmósfera durante el tratamiento, una cantidad significativa se fija por adsorción a los flóculos del lodo. El método más frecuentemente usado para quitar los siloxanos es la adsorción por carbón activado. Puesto que el biogás contiene un rango amplio de compuestos (H<sub>2</sub>S, siloxanos, materia orgánica) con concentraciones que cubren algunos órdenes de magnitud, una adsorción competitiva de los siloxanos y una variedad de rastros de compuestos que deben ser considerados para llevar a una capacidad de absorción larga necesaria y remover los compuestos de silicio cuando se usan materiales adsorbentes en el pretratamiento del biogás.

#### d) Compresión del biogás

La compresión del biogás reduce los requerimientos de almacenaje, concentra el contenido de energía y aumenta la presión a niveles que superan las caídas de presión en técnicas subsecuentes o tuberías. Aunque se hayan publicado varios estudios todavía no hay un uso en gran escala.

## G. Riesgos y seguridad del biogás

La seguridad de la planta y de sus operarios es de suma importancia al momento de implementar este tipo de tecnologías, debido al tipo de combustible con el que se está trabajando, que es altamente inflamable y por lo que deben implementarse dispositivos para evitar accidentes y fugas, así como protecciones contra sobrepresiones que inclusive pueden causar daño al digestor. Por esta razón, es importante implementar dispositivos como válvulas de alivio, antorchas y arrestallamas que se mencionan a continuación.

### 1. Válvula de alivio

Las sobrepresiones tanto dentro del digestor como en el sistema de tuberías son algo inevitable debido a que existen momentos en los que no se está utilizando el biogás producido y es cuando aumenta la presión de operación del digestor. Por este motivo, es muy importante saber cuál es el rango de presión de operación del sistema o en su defecto, la presión de operación que se tiene en condiciones normales, para así poder implementar una válvula de alivio que debe estar diseñada para evacuar el exceso de biogás producido a una presión mayor a la de operación. La válvula de alivio se debe ubicar en la línea principal del sistema. Por lo general se instala en voladizo, procurando que su peso no doble la tubería o la dañe. También es preferible instalarla antes que todos los dispositivos de tratamiento y almacenamiento del biogás, es decir, después de la toma del biogás proveniente del digestor (véase la imagen I.7).

**Imagen I.7**  
**Válvula de alivio**



**Fuente:** Al Seadi T. y otros, *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs, 2008.

### 2. Antorchas

En plantas de biogás de grandes dimensiones y en las que la presión de generación y operación es elevada, en ocasiones se necesita liberar grandes cantidades de biogás debido a las sobrepresiones o en momentos en los que el biogás no se esté utilizando. Este biogás liberado en grandes cantidades al medio ambiente contamina el entorno con mal olor y puede ser peligroso si es inhalado, por lo que se pueden utilizar antorchas para quemar ese biogás. La antorcha se



ubica a una distancia prudente del digestor por motivos de seguridad, ya que es de alto riesgo generar una llama cerca del digestor. Por lo general se conecta al digestor por medio de su propio conducto y está dotada de sensores de presión que activan la antorcha en caso de ser necesario (véase la imagen I.8).

**Imagen I.8**  
**Antorcha**



**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

### 3. Arrestallamas

Por lo general, el arrestallamas viene en conjunto con la antorcha. Su función es evitar que la llama generada por la antorcha se propague al interior del digestor, lo que desataría una explosión, por lo que se ubica justo antes de la antorcha, en el conducto de esta (véase la imagen I.9).

**Imagen I.9**  
**Arrestallamas**



**Fuente:** J.A. Hidalgo Bonilla, V.A. Maravilla Carranza, W.O. Ramírez Castro, *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, tesis de licenciatura, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, 2010.

## Capítulo II

# Evaluación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador

La consultoría “Evaluación e implementación de proyectos piloto de biodigestores en El Salvador” fue ejecutada por el Grupo Incomer y el Consejo Nacional de Energía (CNE), con apoyo de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). En esta sección se presenta el proceso a través del cual se preseleccionaron los posibles lugares donde se llevarían a cabo los proyectos piloto de biodigestores. Además, se listan las comunidades/caseríos e instituciones educativas visitados, la información recabada en los lugares visitados y el método de evaluación para seleccionar los potenciales lugares en los que se implementarían los proyectos piloto de biodigestores.

### A. Definición de usuarios potenciales

Los posibles usuarios de biodigestores en El Salvador se definieron en conjunto con el Consejo Nacional de Energía (CNE). Se identificaron como posibles usuarios a organizaciones de producción agrícola y pecuaria, la agroindustria, municipalidades e instituciones educativas e instituciones enfocadas al turismo como posibles canales de comunicación y apoyo en la identificación de los potenciales usuarios de biodigestores. Se determinó que los perfiles del público objetivo se definirían de acuerdo con la situación geográfica (recursos disponibles), vulnerabilidad y cuestiones técnicas. Con base en dichos criterios generales se decidió que para seleccionar los potenciales usuarios de biodigestores se deberían considerar aspectos tales como conocimiento básico previo en materia de biogás, tratamiento de desechos y aguas residuales,

ubicación geográfica y susceptibilidad a fenómenos naturales y estructura organizacional, entre otros. Se realizó una lista de organizaciones y entes que podrían estar interesados en participar en el proceso, dividido en seis grupos de acuerdo con su uso (véase el cuadro II.1).

**Cuadro II.1**  
**El Salvador: usuarios potenciales de biodigestores en el país**

Producción agrícola	Producción pecuaria	Escuelas
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)	Cooperativa La Salud	Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED) de El Salvador
Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA)	Proleche	Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL)
Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES)	Asociación de Ganaderos	AQUA
Banco de Fomento Agropecuario (BFA)	Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA)	ONG
Fundación para la Innovación Tecnológica Agropecuaria (FIAGRO)	Asociación Salvadoreña de Porcicultores (ASPORC)	Plan International (ONG)
Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM)	Asociación de Avicultores	
Asociación de Graduados de la Escuela Agrícola Panamericana (AGEAP) – Universidad Zamorano	Lactosa	
Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)	Agrosania	
Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)	Quesos Petacones	
Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ)	Lácteos Metapán	
Súper Selectos	Los quesos de Oriente	
Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPML)		
Municipalidades	Agroindustria	Turismo y hoteles
Corporación de Municipalidades de El Salvador (COMURES)	Centro de Desarrollo de la Pesca y la Agricultura (CENDEPESCA)	Ministerio de Turismo de El Salvador (MITUR)
ONG	Centro de Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa (CEDEMYPE)	Corporación Salvadoreña de Turismo (CORSATUR)
Ministerio de Agricultura y Recursos Naturales de El Salvador (MARN)	Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador (MAG)	Cámara Salvadoreña de Turismo (CASATUR)
Desechos Residuales	Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES)	Centro de Desarrollo de la Micro y Pequeña Empresa (CEDEMYPE)

Municipalidades	Agroindustria	Turismo y hoteles
Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados de El Salvador (ANDA)	Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” (UCA)	Universidad Matías Delgado
Fondo de Inversión Social para el Desarrollo (FISDL)	Universidad Matías Delgado	UCA
	Liga Cooperativa de los Estados Unidos de América (CLUSA)	Asociación de Restaurantes

**Fuente:** Elaboración propia.

## B. Preselección de sitios con potencial para realizar los proyectos piloto de biodigestores

En un comienzo la intención de la iniciativa era desarrollar biodigestores comunitarios que sirvieran a los productores de determinada municipalidad a través de asociaciones, por lo que la primera consulta se hizo con el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL), la institución que ejecuta proyectos sociales en El Salvador. El FISDL sugirió 18 comunidades que podrían ser potenciales beneficiarios de biodigestores (véase cuadro II.2).

**Cuadro II.2**  
**El Salvador: comunidades sugeridas por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL) como potenciales beneficiarios de biodigestores**

Comunidad	Municipio/Departamento
San Felipito	Apastepeque/San Vicente
Las Marías	
Concepción Los Cerros	Tejutepeque/Cabañas
San Francisco Echeverría	
Las Puertas Chachas	Dolores/Cabañas
Tepemechín	
Colonia Guadalupe	El Rosario/Cuscatlán
Los López	
La Lima 1 (Cantón Zapotillo)	Alegria/Usulután
Apastepeque (Cantón Apastepeque)	
San Isidro	Berlín/Usulután
San Lorenzo	
Guajiniquil (Cantón Minitas)	Sesori/San Miguel
El Tablón (Cantón Tablón)	
Caserío Las Marías	Gualococti/Morazán
Caserío El Chupadero	
Caseríos Los Pérez	Chilanga/Morazán
Caserío Los Ventura	

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de información de comunidades propuestas por el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local (FISDL).

El FISDL recomendó, además, considerar la necesidad de brindar apoyo técnico posterior a la ejecución de cualquier proyecto de biodigestores, involucrar al gobierno local en las visitas de campo, seleccionar las comunidades a través de los promotores locales y no generar falsas expectativas en las comunidades. De manera simultánea a la consulta con el FISDL, el CNE hizo consultas con municipalidades, ONG, universidades y otras instituciones para que sugirieran usuarios potenciales y lugares viables para llevar a cabo proyectos de biodigestores. A partir de estas consultas se preseleccionaron dos comunidades del municipio de Torola en el Departamento de Morazán (La Ceiba y El Progreso). Dichas comunidades fueron preseleccionadas debido a que, con base en las pláticas sostenidas con las autoridades municipales, el CNE determinó que contaban con condiciones de recursos disponibles y de aspectos técnicos importantes para ser consideradas como posibles beneficiarios de proyectos piloto de biodigestores.

Adicionalmente, como resultado de las consultas a municipalidades, ONG, universidades y otras instituciones, el CNE sugirió incluir en la evaluación no solo a comunidades, sino también a instituciones educativas de nivel técnico, especialmente aquellas que contaban con granjas en sus instalaciones, pues eran lugares con mayor viabilidad para implementar biodigestores. Se decidió consultar al Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED) para que sugiriera las instituciones educativas con potencial para llevar a cabo proyectos piloto de biodigestores. El MINED, a través de la Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica (GETT) del Viceministerio de Ciencia y Tecnología, y la Gerencia de Alimentación y Salud Escolar (GASE) de la Dirección Nacional de Gestión Educativa (DNGE), sugirió nueve centros escolares que podrían beneficiarse de biodigestores. La GETT sugirió ocho instituciones educativas de nivel técnico que podrían ser usuarios potenciales de biodigestores (véase el cuadro II.3).

**Cuadro II.3**

**El Salvador: instituciones educativas sugeridas por la Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica (GETT) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED) como potenciales beneficiarios de biodigestores**

Instituto Nacional 14 de Julio de 1875 San Francisco Gotera, Morazán
Instituto Nacional Cantón Tierra Blanca Jiquilisco, Usulután
Instituto Nacional de Apastepeque, San Vicente
Instituto Nacional de Usulután, Usulután
Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez, Chalatenango
Instituto Nacional Nueva Guadalupe, San Miguel
Instituto Nacional Segundo Montes Meanguera, Morazán
Instituto Nacional Thomas Jefferson, Sonsonate

**Fuente:** Elaboración propia sobre la base de información de la Gerencia de Educación Técnica y Tecnológica (GETT) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología (MINED).

La GASE de la DNGE del MINED sugirió solamente dos instituciones educativas, el Instituto Nacional San Isidro en el departamento de Cabañas y el Instituto Nacional Thomas Jefferson en el departamento de Sonsonate. Este último centro escolar también fue sugerido por la GETT. En total la preselección de potenciales beneficiarios de proyectos piloto de biodigestores incluyó 18 comunidades sugeridas por el FISDL, dos comunidades

preseleccionadas como resultado de consultas a municipalidades, ONG, universidades y otras instituciones, y nueve instituciones educativas de nivel técnico sugeridas por el MINED.

## C. Selección de comunidades para visitas de campo

Para seleccionar las comunidades en las que se llevarían a cabo visitas de campo se consultó a las municipalidades e instituciones con conocimiento de los lugares preseleccionados. Como resultado de estas consultas se redujo el listado a solo diez comunidades: ocho sugeridas por el FISDL (de 18 en total) y dos preseleccionadas como resultado de consultas con municipalidades, ONG, universidades y otras instituciones. Las diez comunidades que no fueron incluidas para realizar visitas de campo presentaban problemas de seguridad que podrían poner en riesgo la integridad de las personas que llevaran a cabo las visitas. Las comunidades seleccionadas para las visitas de campo se enlistan en el cuadro II.4.

**Cuadro II.4**  
**El Salvador: comunidades seleccionadas para visitas de campo**

Comunidad/Caserío	Municipio	Departamento
San Felipito	Apastepeque	San Vicente
Las Marías	Apastepeque	San Vicente
Las Puertas Chachas	Dolores	Cabañas
Tepemechín	Dolores	Cabañas
Col. Guadalupe	El Rosario	Cuscatlán
Caserío Las Marías	Gualococti	Morazán
Caserío El Chupadero	Gualococti	Morazán
Caserío Los Pérez	Chilanga	Morazán
La Ceiba	Torola	Morazán
El Progreso	Torola	Morazán

**Fuente:** Elaboración propia.

En lo que respecta a las instituciones educativas, el MINED sugirió priorizar a 5 instituciones educativas mientras que 4 quedaron fuera de la lista de lugares para llevar a cabo visitas de campo debido a cuestiones de seguridad. Los centros educativos seleccionados para las visitas de campo se consignan en el cuadro II.5.

**Cuadro II.5**  
**El Salvador: centros educativos seleccionados para visitas de campo**

Centro Escolar	Municipio	Departamento
Instituto Nacional "Thomas Jefferson"	Sonsonate	Sonsonate
Instituto Nacional "Dr. Francisco Martínez Suárez"	Chalatenango	Chalatenango
Instituto Nacional de Apastepeque	Apastepeque	San Vicente
Instituto Nacional de Nueva Guadalupe	Nueva Guadalupe	San Miguel
Instituto Nacional de Usulután	Usulután	Usulután

**Fuente:** Elaboración propia.

Las comunidades y centros escolares fueron visitados entre el 2 y el 27 de febrero de 2017. En dichas visitas se llenó una ficha para comunidades/caseríos y otra para centros escolares. Dichas fichas contenían información de recursos disponibles, vulnerabilidad y aspectos técnicos que servirían para evaluar los lugares con mayor potencial para los proyectos piloto de biodigestores. En total se visitaron diez comunidades o caseríos y cinco instituciones educativas, aunque en los Institutos Nacionales de Usulután y de Nueva Guadalupe en San Miguel no fue posible recabar información debido a que los directores y responsables de las actividades agrícolas de dichos centros no se encontraban disponibles durante la realización de las visitas.

## **D. Ficha de información recabada en las comunidades o caseríos e instituciones educativas visitados**

Para cada una de las comunidades/caseríos e instituciones educativas visitados se elaboraron fichas con información relevante para llevar a cabo la evaluación tomando en cuenta los criterios generales definidos al comienzo de la consultoría (disponibilidad de recursos, vulnerabilidad y aspectos técnicos). La ficha básica para las comunidades o caseríos permitía reunir información sobre los siguientes rubros:

- Municipio donde se localiza la comunidad/caserío
- Ubicación del municipio, incluyendo mapa
- Población total del municipio
- Ubicación en la escala de pobreza del municipio
- Nombre de la comunidad/caserío
- Ubicación de la comunidad/caserío
- Contacto en la comunidad/caserío
- Número de personas que habitan en la comunidad/caserío
- Número de familias que habitan en la comunidad/caserío
- Descripción del acceso a la comunidad/caserío
- Organizaciones existentes en la comunidad/caserío
- Distribución de las familias en el campo
- Características del terreno
- Fuentes de agua y disponibilidad
- Costo del agua en la zona
- Descripción del centro escolar de la comunidad/caserío
- Disponibilidad de residuos de alimentos en el centro escolar
- Acceso de electricidad en la zona
- Distribuidora de electricidad en la zona
- Acceso a internet en la zona
- Actividades productivas principales
- Organizaciones o iniciativas con las que trabaja
- Vulnerabilidad de la zona
- Producción animal
- Producción vegetal



- Presencia de huertos caseros en la zona
- Elaboración de composteras y aboneras orgánicas
- Manejo de aguas residuales humanas (aguas grises y negras)
- Manejo de residuos sólidos
- Consumo de gas propano promedio
- Consumo de leña
- Consumo de leña mensual por familia. (aproximado)
- Distribuidora eléctrica

Asimismo, para las instituciones educativas visitadas se recabó una ficha con la siguiente información:

- Nombre de escuela
- Ubicación de la escuela
- Población de trabajadores de la escuela (docentes, administrativos, entre otros.)
- Mapa de ubicación
- Contacto de la escuela
- Número de estudiantes
- Número de estudiantes de áreas agropecuarias
- Descripción del acceso a la escuela
- Organizaciones existentes en la comunidad
- Características del terreno
- Fuentes de agua y disponibilidad
- Costo del agua en la zona
- Ubicación de la granja escolar
- Disponibilidad de residuos de alimentos en el centro escolar
- Acceso de electricidad en la zona
- Distribuidora de electricidad en la zona
- Acceso a internet en la zona
- Actividades productivas principales
- Vulnerabilidad de la zona
- Producción animal
- Producción vegetal
- Presencia de huertos caseros en la zona
- Elaboración de composteras y aboneras orgánicas
- Manejo de aguas residuales humanas (aguas grises y negras)
- Manejo de residuos sólidos
- Consumo de gas propano promedio
- Consumo de leña
- Consumo de leña mensual
- Costo de la leña
- Especies comúnmente usadas para leña
- Distribuidora eléctrica
- Otra información adicional



Además de la información recabada en las fichas básicas también se registraron observaciones técnicas en las comunidades e instituciones educativas visitadas que requerían precisar aspectos tales como espacio disponible, recursos aprovechables, ventajas del lugar y cualquier aspecto relevante para potenciar la utilización de biodigestores. Con la información recabada se procedió a evaluar los lugares visitados a fin de seleccionar los tres lugares con mayor potencial para implementar un proyecto piloto de biodigestores.

## **E. Evaluación de lugares para llevar a cabo proyectos piloto de biodigestores**

Una vez realizadas las visitas de campo, se evaluaron los lugares visitados tomando en cuenta tres categorías: recursos disponibles, vulnerabilidad e información técnica. Los aspectos que se tomaron en cuenta para evaluar los recursos disponibles fueron:

- Fuentes de agua
- Fuentes de agua potable
- Fuentes de agua no potable
- Distancia de las fuentes de agua no potables
- Energía eléctrica en la zona
- Acceso a internet en la zona
- Contabilidad actualizada
- Trabaja con otras organizaciones
- Acceso al lugar
- Nivel de organización
- Interés de los involucrados

En lo que respecta a la vulnerabilidad, se evaluaron los siguientes aspectos:

- Inundaciones
- Sequías
- Deslizamientos
- Incendios forestales
- Seguridad pública

Finalmente, la información técnica evaluada fue la siguiente:

- Generación de estiércol de producción animal
- Generación de residuos vegetales
- Generación de residuos de procesos agroindustriales
- Generación de residuos de actividad humana
- Posibilidad de recolección de los residuos
- Consumo de gas propano
- Consumo de leña
- Dispersión de los sitios de consumo de biogás
- Consumo de fertilizante sintético

- Supervisión del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) por disposición actual
- Conocimiento sobre biodigestores
- Conocimiento sobre abonos orgánicos
- Compostaje de residuos
- Análisis de los residuos actuales
- Área disponible para el proyecto
- Condiciones de suelo para excavación

Se evaluaron los lugares visitados en cada uno de los aspectos de las tres categorías (disponibilidad de recursos, vulnerabilidad e información técnica) y se les asignaron puntajes desde 1 hasta 3 con base en el criterio de expertos de dos de los consultores del INCOMER, los ingenieros agrónomos Juan Carlos Hidalgo y Edlin Alfaro quienes, con base en las visitas de campo, su conocimiento técnico y su experiencia, asignaron los puntajes para los criterios utilizados: recursos disponibles (mayor acceso, acceso medio, menor acceso); vulnerabilidad (mayor vulnerabilidad, vulnerabilidad media, menor vulnerabilidad); e información técnica (mayor valor, valor medio o menor valor).

En los Institutos Nacionales de Usulután y de Nueva Guadalupe en San Miguel no fue posible recabar información debido a que los directores y responsables de las actividades agrícolas de dichos centros no se encontraban disponibles durante las visitas, por lo que no fueron incluidos en la evaluación. Una vez hecha esa consideración, al final se evaluaron 10 comunidades o caseríos y 3 instituciones educativas para determinar cuáles eran los sitios con mayor potencial para implementar los proyectos piloto de biodigestores. En los cuadros II.6 y II.7 se presentan las evaluaciones y puntajes de caseríos/comunidades y centros escolares, respectivamente.

**Cuadro II.6**  
**El Salvador: evaluación de las comunidades o caseríos visitados**  
*(Puntaje: 1=menor puntaje / 2= puntaje intermedio / 3=mayor puntaje)*

Comunidad o caserío										
Departamento	San Vicente		Cabañas		Cuscatlán	Morazán				
Municipio	Apastepeque		Dolores		El Rosario	Gualococti	Chilanga	Torola		
Caserío o comunidad	San Felipito	Las Marías	Las Puertas Chachas	Tepemechin	Col. Guadalupe	Las Marías	El Chupadero	Los Pérez	La Ceiba	El Progreso
<b>Criterio 1: recursos disponibles</b>										
Fuentes de agua	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2
Fuente de agua potable	3	3	1	3	3	3	3	3	1	3
Fuente de agua no potable	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1
Distancia de las fuentes de agua no potables	2	2	3	2	1	1	1	1	2	1
Energía eléctrica en la zona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Acceso a internet en la zona	3	3	3	3	3	1	1	2	3	3
Contabilidad actualizada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Trabaja con otras organizaciones	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3
Acceso al lugar	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3
Nivel de organización	2	3	3	2	1	1	1	2	3	3
Interés de los involucrados	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
Subtotal	27	28	29	28	21	20	20	23	25	25

Criterio 2: vulnerabilidades									
Inundaciones	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Sequías	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Deslizamientos	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Incendios forestales	2	1	3	3	3	3	3	3	3
Seguridad pública	2	3	3	3	2				
Subtotal	11	11	13	13	12	10	10	10	10
Criterio 2: información técnica									
Generación de estiércol de producción animal	3	3	3	3	3	2	1	1	1
Generación de residuos vegetales	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Generación de residuos de procesos agroindustriales	1	1	3	3	1	1	1	1	1
Generación de residuos de actividad humana	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Posibilidad de recolección de los residuos	3	2	2	2	2	1	1	1	1
Consumo de gas propano	3	3	2	1	3	1	1	1	1
Consumo de leña	3	3	3	3	2	3	3	3	3
Dispersión de los sitios de consumo de biogás	1	1	2	1	3	1	1	1	1
Consumo de fertilizante sintético	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Supervisión del MARN por disposición actual	1	1	3	1	1	1	1	1	1
Conocimiento sobre biodigestores	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Conocimiento sobre abonos orgánicos	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Compostaje de residuos	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Análisis de los residuos actuales	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Área disponible para el proyecto	3	3	3	3	3	2	2	3	3
Condiciones de suelo para excavación	3	3	3	2	3	2	2	2	1
Subtotal	30	29	34	28	30	23	22	23	20
Total	68	68	76	69	63	53	52	56	55

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro II.7**  
**El Salvador: evaluación de las instituciones educativas visitadas**  
*(Puntaje: 1=menor puntaje / 2= puntaje intermedio / 3=mayor puntaje)*

Institutos			
Departamento	Sonsonate	Chalatenango	San Vicente
Municipio	Sonsonate	Chalatenango	Apastepeque
Institutos	Instituto Nacional Thomas Jefferson	Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez	Instituto Nacional de Apastepeque
Criterio 1: recursos disponibles			
Fuentes de agua	3	3	2
Fuente de agua potable	3	2	1
Fuente de agua no potable	3	3	2
Distancia de las fuentes de agua no potables	3	3	3
Energía eléctrica en la zona	3	3	3
Acceso a internet en la zona	3	3	2
Contabilidad actualizada	3	3	3
Trabaja con otras organizaciones	3	3	3
Acceso al lugar	3	3	2
Nivel de organización	3	3	3
Interés de los involucrados	3	3	3
Subtotal	33	32	27

<b>Criterio 2: vulnerabilidades</b>			
Inundaciones	2	3	2
Sequías	3	1	1
Deslizamientos	3	3	3
Incendios forestales	3	3	3
Seguridad pública	2	2	2
Subtotal	13	12	11
<b>Criterio 3: información técnica</b>			
Generación de estiércol de producción animal	3	3	2
Generación de residuos vegetales	3	3	2
Generación de residuos de procesos agroindustriales	1	3	1
Generación de residuos de actividad humana	1	1	1
Posibilidad de recolección de los residuos	3	3	3
Consumo de gas propano	1	3	2
Consumo de leña	3	2	1
Dispersión de los sitios de consumo de biogás	3	3	3
Consumo de fertilizante sintético	3	3	2
Supervisión del MARN por disposición actual	1	1	1
Conocimiento sobre biodigestores	1	1	1
Conocimiento sobre abonos orgánicos	2	2	2
Compostaje de residuos	1	2	1
Análisis de los residuos actuales	1	1	1
Área disponible para el proyecto	3	3	3
Condiciones de suelo para excavación	3	3	3
Subtotal	33	37	29
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>81</b>	<b>67</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se detalla el resumen de las puntuaciones para las comunidades e instituciones educativas en las que se llevaron a cabo visitas de campo (véanse los cuadros II.8 y II.9, respectivamente).

**Cuadro II.8**  
**El Salvador: resultados de la evaluación de las comunidades visitadas**

Institución	Departamento	Municipio	Nombre	Puntaje
Instituto Nacional	Chalatenango	Chalatenango	Dr. Francisco Martínez Suárez	81
Instituto Nacional	Sonsonate	Sonsonate	Thomas Jefferson	79
Instituto Nacional	San Vicente	Apastepeque	INA	67
Instituto Nacional	San Miguel	Nueva Guadalupe	INNG	0
Instituto Nacional	Usulután	Usulután	INU	0

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro II.9**  
**El Salvador: resultados de la evaluación de los centros educativos**

Clasificación	Departamento	Municipio	Nombre	Puntaje
Comunidad	Cabañas	Dolores	Las Puerta Chachas	76
Comunidad	Cabañas	Dolores	Tepemechin	69
Comunidad	San Vicente	Apastepeque	San Felipito	68
Comunidad	San Vicente	Apastepeque	Las Marías	68
Comunidad	Cuscatlán	El Rosario	Col. Guadalupe	63
Comunidad	Morazán	Chilanga	La Ceiba	57
Comunidad	Morazán	Torola	Los Pérez	56
Comunidad	Morazán	Torola	El Progreso	55
Comunidad	Morazán	Gualocoti	Las Marías	53
Comunidad	Morazán	Gualocoti	El Chupadero	52

**Fuente:** Elaboración propia

Con base en los puntajes obtenidos, se determinó que los lugares con mayor potencial para implementar los proyectos piloto de biodigestores fueron el Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (municipio de Chalatenango, Chalatenango) con 81 puntos; el Instituto Nacional Thomas Jefferson (municipio de Sonsonate, departamento de Sonsonate) con 79 puntos y la comunidad de Las Puertas Chachas (municipio de Dolores, departamento de Cabañas) con 76 puntos. Por contar con la mayor puntuación en la evaluación y por consideraciones de liderazgo e involucramiento de las autoridades del centro escolar de Chalatenango, se decidió implementar el biodigestor en dicha institución educativa.

A continuación, se presenta la descripción del sitio donde se encuentra ubicado el Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez y las características del biodigestor que fueron consideradas antes de su implementación. Asimismo, en el Anexo al presente documento se encontrará la descripción de los otros dos sitios que resultaron con los puntajes más altos y que se ubicaron tan solo por debajo de este centro escolar de Chalatenango en la evaluación.

## Capítulo III

# Información de la institución educativa seleccionada como beneficiaria del proyecto piloto de biodigestor

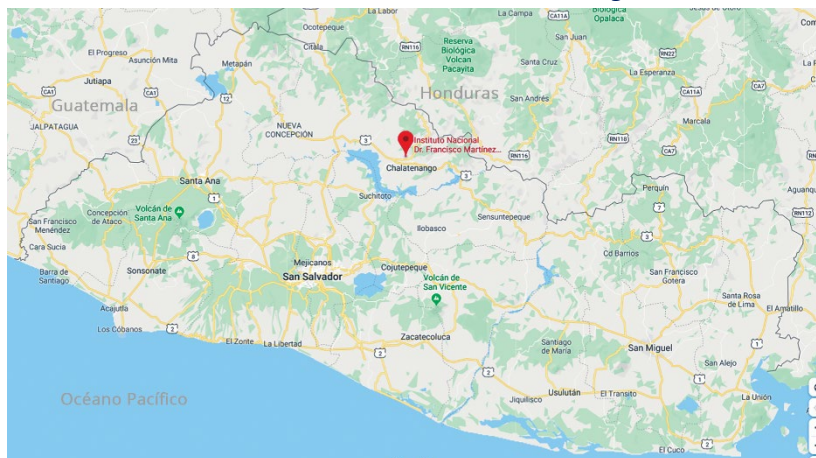
### A. Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez

#### 1. Ubicación

El Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez se ubica en Final Calle Morazán, Barrio El Calvario, Chalatenango. La granja se encuentra en el km 75 Carretera hacia Chalatenango Caserío Totolco, Cantón Upatoro, Chalatenango, frente al Estadio Gregorio Martínez.

Mapa III.1

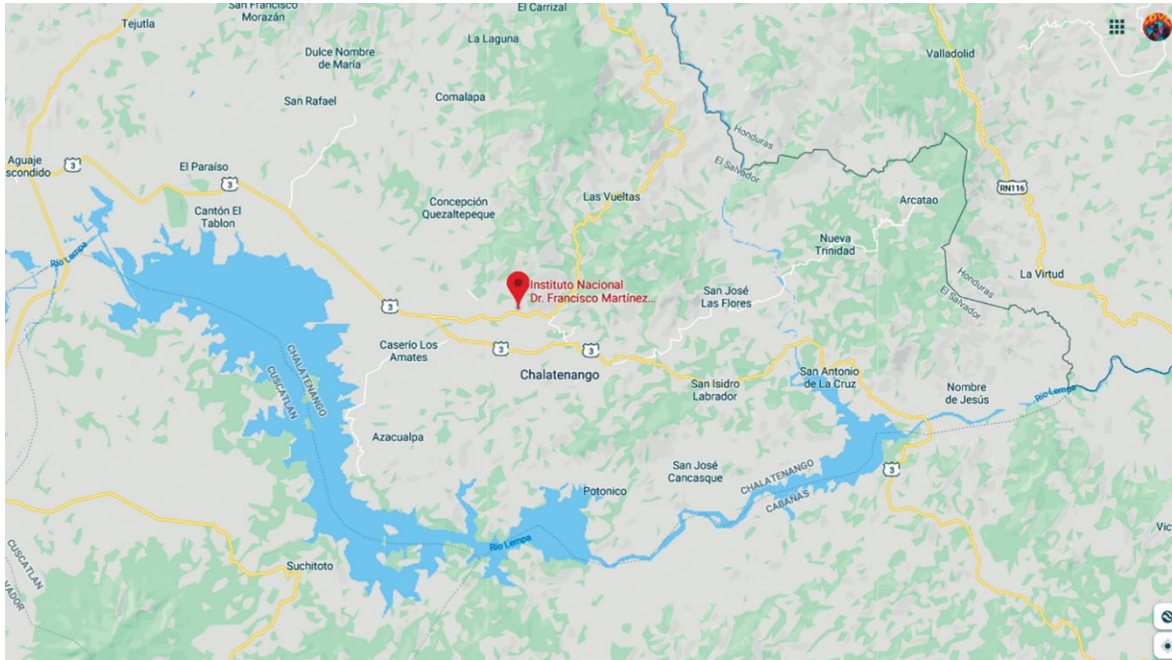
Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador): ubicación



Fuente: Google Maps, 2019.

Mapa III.2

**Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador): acercamiento a la ubicación**



Fuente: Google Maps, 2019.

## 2. Descripción del sitio

El Instituto cuenta con 95 docentes y administrativos, 10 técnicos y personal para la granja y vigilancia permanente. El número de estudiantes de bachillerato agropecuario y agroindustrial es de 112 en total. El terreno es relativamente plano, no existe riesgo de inundaciones ni deslizamientos o incendios forestales, pero sí hay riesgo de sequía. Hay agua potable, un río cercano y está próxima la perforación de un pozo. La actividad de la granja es permanente, el personal técnico y los alumnos se organizan en grupos y continúan trabajando en días festivos.

Se utilizan tres quintales (equivalentes a 300 kg) de fertilizantes a la semana, con un costo de 180 dólares, en parcelas para cultivos varios (maíz, yuca, pepino, rábanos, entre otros) con un área variable de 1,0 a 1,5 manzana de tierra. Los cultivos son limitados debido a la poca disponibilidad de agua en la zona, mientras que en verano hacen uso de sistemas de riego. Para los procesos agroindustriales, se consumen 8 cilindros de gas propano de 25 lb al mes, con un costo de 86 dólares. No se utiliza leña. En esta área para proyectos de agroindustria se puede aprovechar el biogás.

## 3. Disponibilidad de biomasa

La granja cuenta con una producción animal de 26 bovinos, ocho cerdos, 800 gallinas ponedoras, 600 pollos y 25 conejas reproductoras; diariamente se obtienen 355.75 kg de residuos. Actualmente estos residuos se dejan secar y se incorporan al campo. La disposición de residuos del instituto tiene un costo de 20.00 dólares; la alcaldía asume el costo de los residuos orgánicos. En el cuadro III.1 se muestra el total de kilogramos de residuos recolectados por día, así como los valores de masa seca y masa volátil (según datos teóricos) de cada tipo de sustrato.



**Cuadro III.1**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biomasa disponible**

Animales	Peso X (adultos) (kg)	Total de animales	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total kg/día	Teórico (en porcentajes)		Base máximo teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	364	26	22	12	312	8-10	90-95	31,2	29,64
Cerdos	125-160	8	4	4	32	4-6	90-95	1,92	1,824
Gallinas ponedoras en piso	2	800	Se saca cada cuatro meses	182	1,5	30	65,52-71,21	0,45	0,315
Pollos	2	600	Se saca cada seis semanas	55	1,5	87	83,11	1 305	1,083
Conejos	3	25	0,35	0,35	8,75	28-50	64-85	4 375	3,718
Total máximo de residuos aprovechable por día					355.75			39,25	36,58

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Descripción del sistema de biodigestión

En el diagrama III.1 se presenta una vista general de la planta con sus edificaciones: sala de ventas, vestidores, planta agroindustrial, aulas, duchas, caseta eléctrica y galpón.

**Diagrama III.1**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):  
 plano de edificaciones existentes**

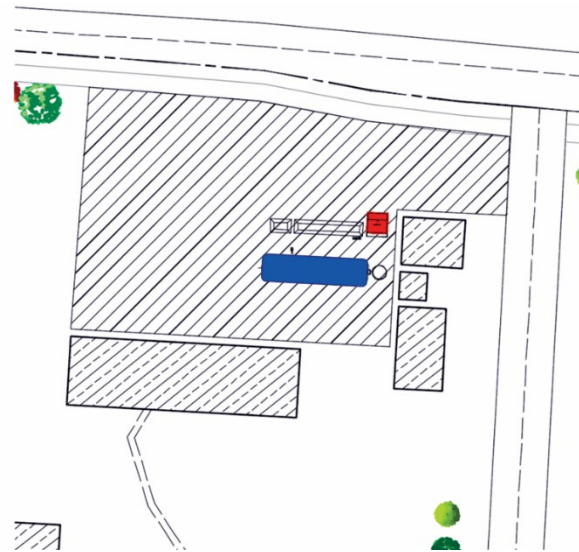


Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama III.2 se muestra el área de ubicación del biodigestor dentro de la granja.



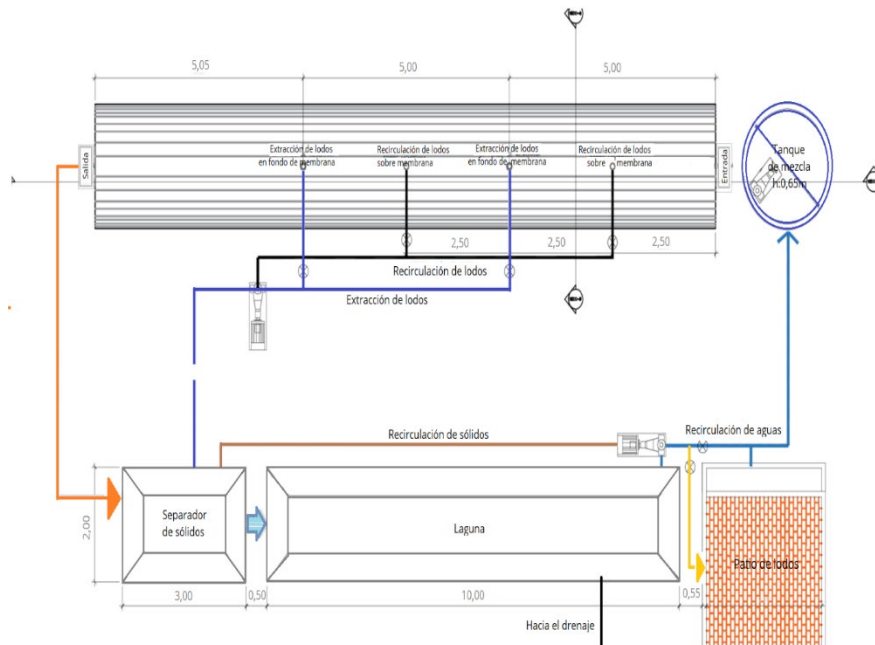
**Diagrama III.2**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): ubicación del biodigestor**



Fuente: Elaboración propia.

El sistema estará conformado por un tanque de mezcla, un biodigestor, un separador de sólidos, una laguna y un patio de secado de lodos (véase el diagrama III.3).

**Diagrama III.3**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): conformación del biodigestor**



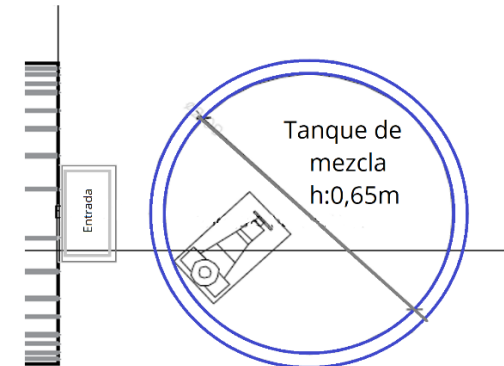
Fuente: Elaboración propia.

### a) Tanque de mezcla

Se ha previsto la construcción de un tanque de homogenización o mezcla para alimentar el sistema de biodigestión. Este tanque estará ubicado en la zona alta del terreno y deberá contar con fácil acceso. Se utilizará un tanque Rotoplas de 2.0 m de diámetro para realizar la mezcla de las diferentes biomásas. Contará con un motor agitador eléctrico y tubería PVC para inyectar la materia al biodigestor (véase el diagrama III.4).

**Diagrama III.4**

**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): tanque de mezcla**



**Fuente:** Elaboración propia.

### b) Biodigestor

Se utilizará un biodigestor prefabricado tipo salchicha, con dimensiones de 2,15 m de diámetro y 15,05 m de largo, con un volumen de 54,64 m<sup>3</sup> (véase la imagen III.1), cuya membrana será de plastilona antihongos y con protección y resistencia a rayos UV. La tubería será de PVC con sus respectivas válvulas. El biodigestor contará con manguera flexible para la circulación y recirculación de lodos sobre la membrana y una bomba eléctrica para la extracción y recirculación de lodos. Los detalles del biodigestor se muestran en los diagramas III.5 y III.6.

**Imagen III.1**

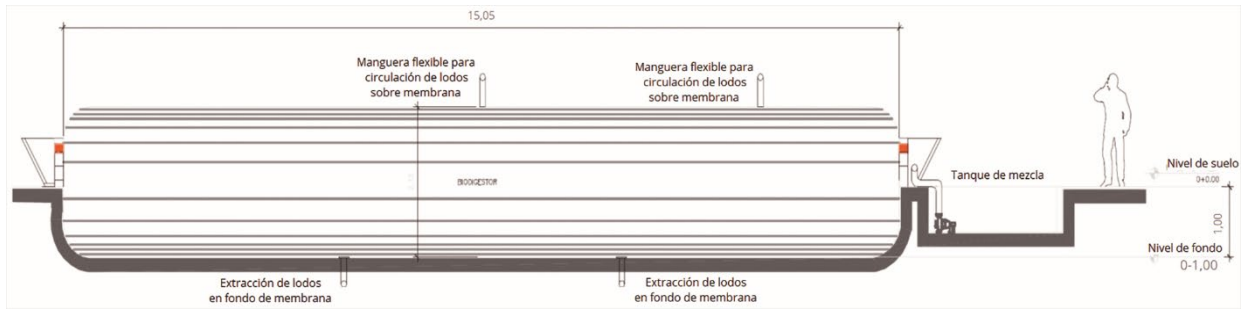
**Ejemplo de biodigestor semienterrado con muro perimetral**



**Fuente:** <http://www.regioncentronoticias.com/santa-fe-la-provincia-inicia-los-cursos-capacitacion-operacion-seguridad-biodigestores/>.

Diagrama III.5

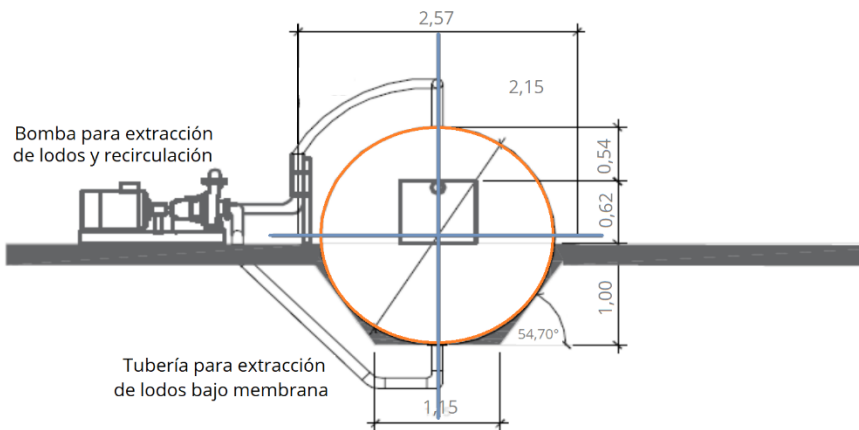
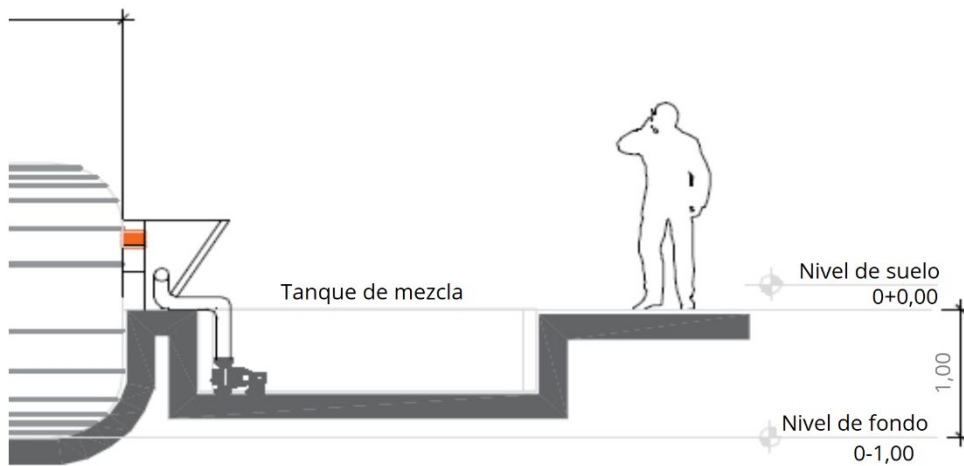
Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): biodigestor semienterrado



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama III.6

Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): detalles del biodigestor



4

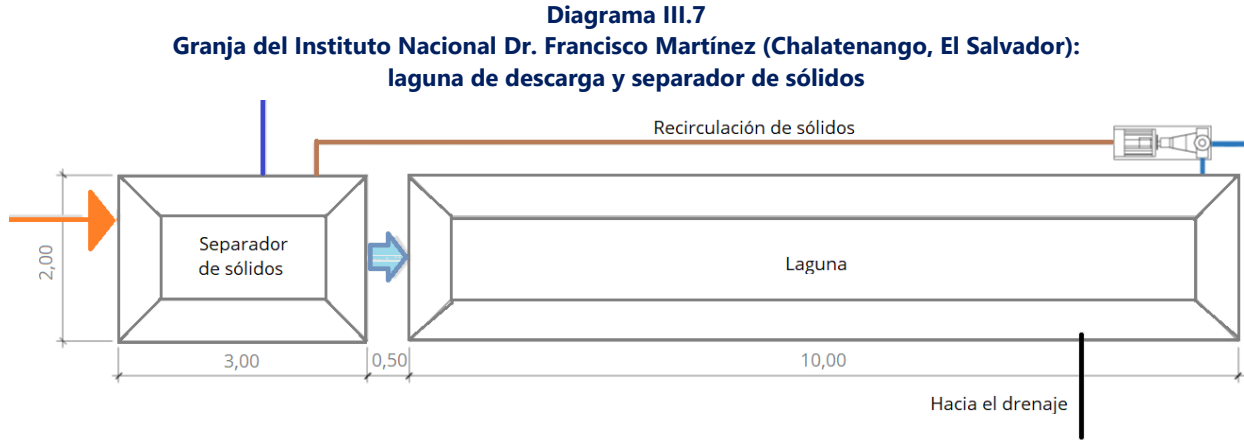
SECCIÓN B-B

Escala 1:50

Fuente: Elaboración propia.

### c) Laguna de descarga

Se construirá una laguna con dimensiones de 10m x 2m x 0,5m equivalente a 10m<sup>3</sup> que contará con una bomba eléctrica para extraer y recircular el agua y se utilizará un tanque Rotoplas de 3m x 2m x 0,5 m, equivalentes a 3 m<sup>3</sup>, como separador de sólidos (véase el diagrama III.7).

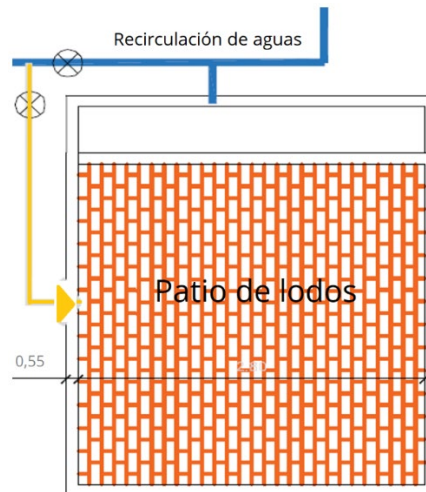


**Fuente:** Elaboración propia.

### d) Patio de secado de lodos

Para extraer y recircular los lodos se utilizará una bomba eléctrica y para disponer de ellos se construirá un patio de secado con cuatro cámaras, con dimensiones de 1,5 metros de largo por 0,75 metros de ancho y 0,75 metros de profundidad; el total es de 2,25 m<sup>3</sup> de volumen de patio (véase el diagrama III.8).

**Diagrama III.8**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador): patio de secado de lodos**

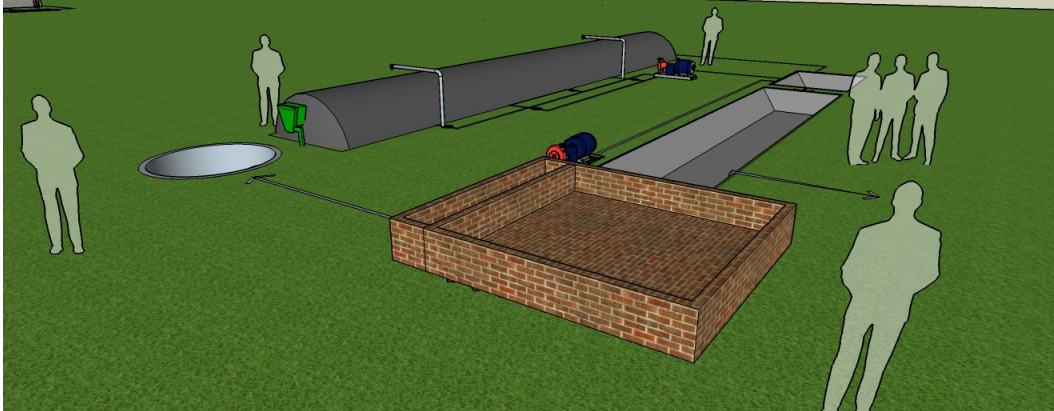


**Fuente:** Elaboración propia.

En las imágenes III.2 a III.4 se muestran diferentes esquemas del sistema de biodigestión del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez.

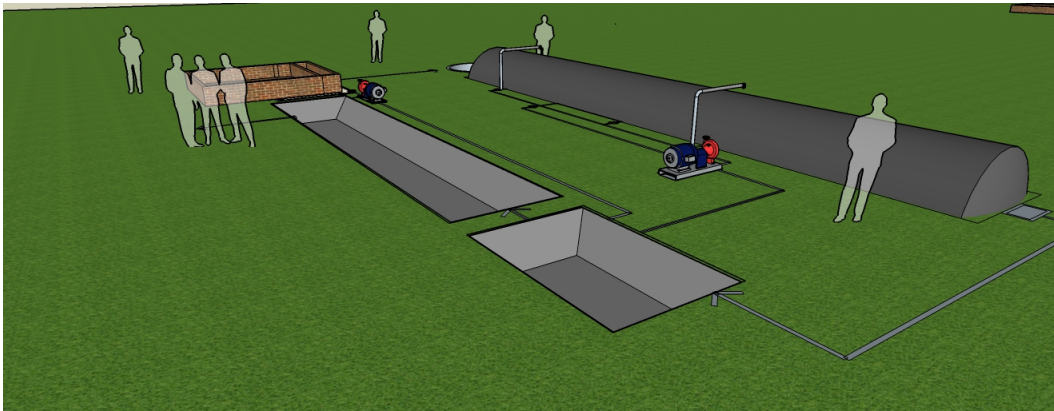


**Imagen III.2**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**biodigestor y patio de secado de lodos**



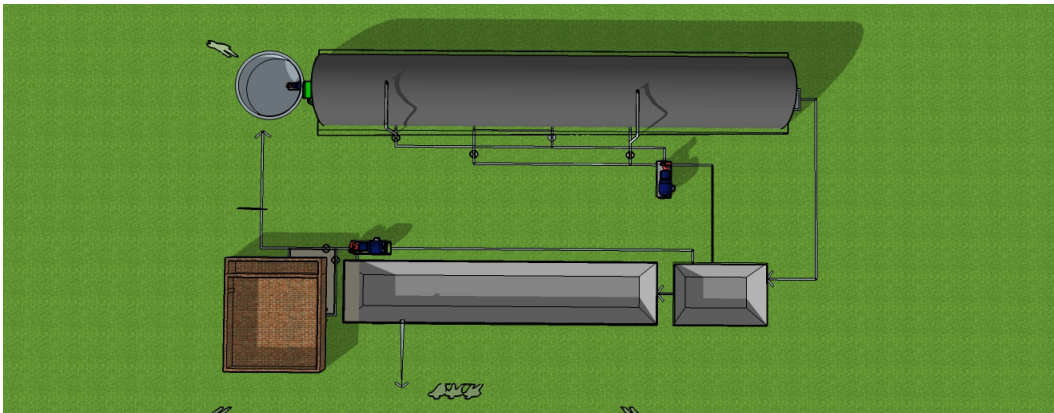
Fuente: Elaboración propia.

**Imagen III.3**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**clarificador y laguna de descarga**



Fuente: Elaboración propia.

**Imagen III.4**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**imagen de conjunto del sistema de biodigestión**



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Producción estimada de biogás

De acuerdo con el total de residuos aprovechables, se ha estimado que la producción de biogás sería de 19.950 m<sup>3</sup> al año (véase el cuadro III.2).

**Cuadro III.21**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**biomasa disponible y producción de biogás**

Animales	Peso X (adultos) (kg)	Total de animales	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total (kg/día)	Teórico (Porcentaje)		Base máximo teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	364	26	22	12	312	8-10	90-95	31,2	29,64
Cerdos	125-160	8	4	4	32	4-6	90-95	1,92	1 824
Gallinas ponedoras en piso	2	800	Se recolecta cada cuatro meses	182	1.5	30	65,52-71.21	0,45	0,315
Pollos	2	600	Se recolecta cada seis semanas	55	1.5	87	83,11	1 305	1,08
Conejos	3	25	0,35	0,35	8.75	28-50	64-85	4 375	3,71
Máximo total de residuos aprovechable/día					355,75			39,25	36,58

**Fuente:** Elaboración propia.

## 6. Presupuesto de construcción

Los costos de construcción del proyecto se presentan en los cuadros III.3 y III.4.

**Cuadro III.3**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**dimensiones de las estructuras principales**

Estructuras						
Tanque de homogenización	Diámetro	1,55 m	Alto	1,6 m	Volumen	2,6 m
Biodigestor	Ancho	2,15 m	Largo	15,05 m	Profundidad	1,4 m
Excavación biodigestor	Metros cúbicos	54,36 m				
Muro perimetral	Ancho	0 m	Largo	0 m	Altura	0 m
Clarificador	Diámetro	1,1 m	Alto	1,87 m		
Laguna de descarga	Ancho	2,0 m	Largo	10,00 m	Profundidad	0,5 m

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro III.4**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**costo del sistema de biodigestión**

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo unitario (en dólares)	Total (en dólares)
<b>Tanque de mezcla</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	3	12	36,95
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	1	25	25,00
Tanque prefabricado	Unidad	1	700	700,00
Homogeneizador	Unidad	1	2 000	2 000,00
Bomba de alimentación	Unidad	1	3 000	3 000,00
Subtotal				5 761,95
<b>Biodigestor</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	54,4	12	652,33
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	45,3	12	543,61
Geotextil	m <sup>2</sup>	75	5	375,00
Biodigestor prefabricado	Unidad	1	3 600	3 600,00
Muro perimetral	m	0	125	-
Bomba de recirculación de lodos	Unidad	1	1 800	1 800,00
Tubería de PVC	m	43	18	774,00
Subtotal				7 744,94
<b>Clarificador</b>				
Tolva prefabricada 1.3 m <sup>3</sup>	Unidad	1	600	600,00
Armazón de metal	Unidad	1	250	250,00
Bases de concreto	Unidad	1	125	125,00
Subtotal				975,00
<b>Laguna de descarga</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	22	12	264,00
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	2	12	24,00
Geotextil	m <sup>2</sup>	75	5	375,00
Membrana de fondo	Unidad	1	1 400	1 400,00
Bomba de recirculación	Unidad	1	1 200	1 200,00
Subtotal				3 263,00
<b>Patio de secado de lodos</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	6	12	72,00
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	2	12	24,00
Geotextil	m <sup>2</sup>	30	5	150,00
Membrana de fondo	Unidad	1	230	230,00
Bomba de recirculación	Unidad	1	1 200	1 200,00
Subtotal				1 676,00
<b>Aprovechamiento de biogás</b>				
Soplador	Unidad	1	800	800,00
Limpieza de biogás	Unidad	1	300	300,00
Tuberías y mangueras de conducción	Total	75	5	375,00
Válvulas de presión	Total	1	125	125,00
Cocinas	Unidad	2	125	250,00
Generador de energía eléctrica	Unidad	0	12 000	-
Sistemas de compresión y embotellado de biogás	Unidad	0	14 000	-
Subtotal				1 850,00
Conexiones eléctricas				5 600,00
Imprevistos				1 500,00
Total sistemas de biodigestión				28 370,89

**Fuente:** Elaboración propia.

## 7. Análisis financiero

El análisis financiero se muestra en el cuadro III.5.

**Cuadro III.5**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**beneficios totales del sistema de biodigestión**

<b>Beneficios del proyecto</b>	<b>Valor</b> <i>(en dólares)</i>
Gasto anual en consumo de leña	840,00
Ingresos por venta de combustible	6 549,68
Subtotal ingresos	7 389,68
<b>Producción de fertilizantes</b>	<b>Valor</b> <i>(en dólares)</i>
Total de toneladas por año	32,85
Precio por tonelada	2 168,10
Producción de fertilizante líquido	36 500
Ingresos por litro	0,20
Total de fertilizantes	7 300,00
Total de ingresos potenciales	16 857,78
Costos de operación	4 214,44
Ingresos netos	12 643,33
Inversión	28 370,89
Período de recuperación	2,2 años

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro III.6 se muestra el período de recuperación de la inversión en el caso de que el biogás se utilizara únicamente para sustituir gas propano o para generar energía eléctrica.

**Cuadro III.6**  
**Granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez (Chalatenango, El Salvador):**  
**período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión**

<b>Combustible</b>	<b>Kcal/m<sup>3</sup></b>	<b>Lbs GLP</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b> <i>(en dólares)</i>	<b>Anual</b> <i>(en dólares)</i>	<b>Recuperación</b>	
Producción estimada de biogás por día	35 m <sup>3</sup>	6 333	1	0,43	18	6 549.68	Cuatro años
Equivalente en energía eléctrica	70 kWh			0,14	9,8	3 577.00	Ocho años
Potencia eléctrica ocho horas	8,75 kW						

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede ver en el cuadro anterior, en el caso de que el biogás se utilizara exclusivamente para sustituir gas propano, el proyecto se podría recuperar en un período de cuatro años, sin incluir ingresos por la venta de fertilizantes orgánicos. En el caso de que el biogás se utilizara exclusivamente para generar energía eléctrica, se podría tener una potencia de 8,75 kW por un período de ocho horas al día y el proyecto se recuperaría en ocho años.





## **Capítulo IV**

# **Implementación del sistema de biodigestión en la granja del Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango)**

En 2018, el CNE, con el apoyo financiero de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), inició la construcción del proyecto piloto de biodigestión en el Instituto Nacional Dr. Francisco Martínez Suárez, ubicado en Chalatenango, El Salvador. El proyecto piloto permite utilizar un aproximado de 350 kg de materia orgánica proveniente del estiércol de vacas, cerdos, conejos y gallinas, entre otros desechos que se producen diariamente en la granja del instituto.

Con estos desechos el instituto produce 25 m<sup>3</sup> de biogás al día, lo equivalente a un cilindro diario de gas LP de 25 libras. El biogás es aprovechado en la planta agroindustrial de la granja para la cocción de alimentos en las prácticas de más de 174 estudiantes del Bachillerato Agrícola y Agroindustrial del Instituto. Con la construcción del biodigestor y como parte del proceso de producción de biogás se obtendrán tres quintales de fertilizantes (líquidos y sólidos) que podrán ser utilizados en los cultivos de hortalizas de la granja. Con este proyecto los estudiantes del instituto serán los primeros en El Salvador que conocerán, en términos generales, el proceso de construcción y mantenimiento de un biodigestor, lo que apoyará su aprendizaje y contribuirá, a pequeña escala, a reducir el uso de los derivados de petróleo.

## Componentes del sistema de biodigestión

El proyecto piloto de biodigestión en Chalatenango cuenta con los siguientes componentes:

- a) Tanque de mezcla prefabricado de polietileno de alta densidad, que tiene una bomba trituradora que permite mezclar homogéneamente los desechos orgánicos para posteriormente ser enviados al biodigestor. El sistema de biodigestión utiliza el agua acumulada en la laguna de descarga, por lo que es un sistema cerrado.
- b) Biodigestor de polietileno de alta densidad (geomembrana), de flujo continuo. Debido a la disponibilidad de biogás los 365 días del año, el biodigestor posee un volumen total de 54.64 m<sup>3</sup> y un volumen de cúpula (almacenamiento de biogás) de 14.64 m<sup>3</sup>.
- c) Sistemas de tuberías de extracción y recirculación de lodos de tres pulgadas de diámetro, con bomba extractora de lodos.
- d) Clarificador (tanque cónico de polietileno de alta densidad) con una capacidad de 300 litros.
- e) Laguna de descarga con taludes reforzados, con recubrimiento de material selecto y geomembrana de polietileno de alta densidad, con una bomba sumergible de 0,50 HP. La laguna está diseñada para recibir el lixiviado tanto del patio de secado como del clarificador y enviar el agua (lixiviado) hasta el tanque de mezcla. La laguna no permite que se use agua fresca en el proceso de producción de biogás.
- f) Patio de secado de lodos con filtro de arena y grava para la deshidratación de lodos que permite separar las fracciones acuosa y sólida de los lodos (lixiviación). El sistema posee tres cámaras con tubería perforada al fondo, lo que permite recolectar el lixiviado y llevarlo hasta una caja recolectora. Del patio de secado se obtiene el fertilizante sólido (lodos secados) y el biol o fertilizante líquido.

**Imagen IV.1**  
**El Salvador: proceso de construcción del biodigestor del Instituto Nacional**  
**Dr. Francisco Martínez Suárez (Chalatenango, El Salvador)**



**Fuente:** Elaboración propia.



## IV. Conclusiones

Existe muy buena receptividad para el desarrollo de este tipo de proyectos, tanto en las comunidades organizadas como en las instituciones educativas. El desarrollo de este tipo de proyectos podría desencadenar el desarrollo de otras actividades sumamente positivas como el cuidado y respeto al medio ambiente, el adecuado tratamiento de los residuos orgánicos, el desarrollo de huertos caseros y escolares, la producción de hortalizas y otros cultivos, y el incremento en la producción pecuaria a pequeña escala.

En las regiones secas (zona norte del país) donde se realizaron las visitas, la poca disponibilidad de agua constituye la mayor limitante para el desarrollo de proyectos de biodigestión. Esta falta de agua podría verse reducida al implementar de forma complementaria iniciativas y mecanismos de cosecha de agua, utilizando como medios de recolección los techos de las construcciones e implementando sistemas prefabricados de almacenamiento, que podrían ser ampliamente utilizados por su facilidad de instalación y bajo costo.

Con relación a la participación de las instituciones y participantes involucrados en el proceso, se concluye que hubo excelente apertura y colaboración durante el proceso de ejecución de la consultoría. Sin embargo, y luego de realizado el proceso y presentados los resultados, se considera que será necesario definir de forma clara la participación y responsabilidades que podrían llegar a tener las diferentes instituciones y participantes, entre estas el Consejo Nacional de Energía, el Fondo de Inversión Social para el Desarrollo Local, el Ministerio de Medio Ambiente, el Ministerio de Educación, los gobiernos municipales, las organizaciones comunitarias, los líderes comunitarios, los padres de familia y los beneficiarios, entre otros. Esta definición clara de las posibles responsabilidades permitirá que los involucrados se involucren, participen e identifiquen más con los proyectos.

Los sitios donde posiblemente se ejecutarán los proyectos piloto presentan muy buenas características con relación a las posibilidades de exposición. Debido a la ubicación y naturaleza de los proyectos seleccionados, será sumamente factible organizar visitas y giras de campo con otros posibles interesados en implementar este tipo de proyectos. Con respecto a la normativa de operación de este tipo de proyectos, resulta conveniente verificar las normativas que ya existen en algunos países de Latinoamérica, especialmente en México y el Ecuador, que ya poseen normativas específicas para Biogás.

Actualmente existen trabajos avanzados para crear una normativa para gas natural en El Salvador, que también sería factible de adecuar para biogás considerando las similitudes existentes entre ambos combustibles. Esta normativa se vuelve sumamente útil en el caso que algunos de estos proyectos pudieran tener interés en comprimir o incluso licuar biogás para uso doméstico similar al uso que se le da actualmente al gas propano.

## Bibliografía

- Ahlers, J. G. (2003), *Gas aus Grass*, Biogasverband.
- Ahring, B.K. (1995), *Methanogenesis in thermophilic biogas digestors*, Antonie van Leeuwenhoek, vol. 67.
- Al Seadi T. y otros (2008), *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs [en línea] <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwj7uZrDxZXmAhUpnq0KHUITAYMQFjABegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.lemvigbiogas.com%2FBiogasHandbook.pdf&usg=AOvVaw0yNol2BNA65PVzAEzMGMe>.
- Baltic compass (2003), "Pre-treatment for improved biogas production from meadow grass", *Baltic Sea Agriculture as a Pilot of Sustainability* [en línea] [http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt\\_extrusion.pdf](http://agro-technology-atlas.eu/docs/ppt_extrusion.pdf).
- Campos, E., J. Palatsi, y X. Flotats (1999), "Codigestion of pig slurry and organic wastes from food industry", *Proceedings of the II International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste*, vol. II, Barcelona, junio.
- Cairó, J.J. y París, J.M. (1988), "Microbiología de la digestión anaerobia, metanogénesis", *Actas del cuarto seminario de tratamiento anaeróbico de aguas residuales*, Valladolid.
- Competence Center Agriculture and Food Business (2012), *Biogas from Grass. How Grassland growths can contribute to producing energy*, Grassland and Forage Cropping Committee (Chair: Prof. Dr. Martin Elsaßer).
- Dar, G.H. y S.M. Tandon (1987), "Biogas production from pretreated wheat straw, lantan residue, apple and peach leaf litter with cattle dung", *Biological wastes*, vol. 21.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011), *Manual de Biogás*, Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, PNUD, FAO, GEF, Santiago de Chile.
- Field, J., R. Sierra Álvarez y G. Lettinga, G. (1988), "Ensayos anaeróbicos", *Actas del cuarto Seminario de Depuración anaerobia de aguas residuales*. Valladolid.



- Geveke, (2014), *Einsatz von Grasaufwüchsen in Biogasanlagen* (aprovechamiento de pasto en biodigestores).
- Grupo Terra (2014), *Manejo de pasto King Grass como cultivo energético para generación eléctrica*.
- Hofmann, M. (2003), *Vergärung von Pulpa aus der Kaffee-Produktion*, U. Baier HSW Hochschule Wädenswi.
- Hidalgo Bonilla, J.A., V.A. Maravilla Carranza y W.O. Ramírez Castro (2010) *Aprovechamiento energético del Biogás en El Salvador*, Universidad Centroamericana José Simeón Canas, Trabajo de graduación preparado para la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Moncayo Romero, G. (2014), *Manual de dimensionamiento y diseño de biodigestores industriales para climas tropicales*, AquaLimpia Engineering e.k., Alemania [en línea] <https://docplayer.es/13960252-Manual-de-dimensionamiento-y-diseno-de-biodigestores-industriales-para-clima-tropical.html>.
- \_\_\_\_\_(2010), *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SAGARPA), Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).
- NOM-001-SECRE-2010 (2010), "Especificaciones del gas natural", Diario Oficial de la Federación, 19 marzo.
- Priebke, A. y H. Jänicke (2012), *Biogas aus Gras*, LFA MV, IfT Dummerstorf, 7. Seminar Futterproduktion, 1 de marzo.
- Reumerman, P. (2012), *Biogas mit gras*, 20 de noviembre.
- Rodríguez Valencia, N., 2011, *Experiencias recientes en el uso de los subproductos del café*, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Colombia.
- Van Haandel, A. y J. van der Lubbe (2012), *Handbook of Biological Waste and Water Treatment*, IWA Publishinbg.
- Varnero M.T. y J. Arellano (1990), *Aprovechamiento Racional de Desechos Orgánicos - Informe Técnico*, Ministerio de Agricultura-Fondo de Investigación Agropecuaria y Universidad de Chile-Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales y Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Santiago, Chile.
- Viaspace (2012), "Integrated Energy Crop Plantation & Biomass Power Plant", *International Biomass Energy Conference*, Denver, Colorado, 16 al 19 de abril [en línea] <http://www.viaspace.com/docs/VIASPACE%20%20International%20Biomass%20Conference%202012.pdf>.
- World Biogas Association (2018), "Global Food Waste Management: An Implementation Guide for Cities", *Full Report*; Food, Water and Waste Programme.

## Anexo: información de los otros dos sitios seleccionados como potenciales beneficiarios del proyecto piloto de biodigestores

### Índice

<b>A. Instituto Nacional Thomas Jefferson</b> .....	77
1. Ubicación.....	77
2. Descripción del sitio.....	78
3. Disponibilidad de biomasa .....	78
4. Descripción del sistema de biodigestión .....	79
5. Tanque de mezcla.....	81
6. Biodigestor .....	81
7. Laguna de descarga.....	82
8. Patio de secado de lodos .....	83
9. Producción estimada de biogás.....	84
10. Presupuesto de construcción.....	85
11. Análisis financiero .....	87
<b>B. Las Puertas Chachas</b> .....	88
1. Ubicación.....	88
2. Descripción del sitio.....	89
3. Disponibilidad de biomasa .....	90
4. Descripción del sistema de biodigestión .....	90
5. Tanque de mezcla.....	91
6. Biodigestor .....	92
7. Tanque de clarificación.....	92
8. atio de secado de lodos.....	93
9. Diseño de biodigestor de Las Puertas Chachas.....	94
10. Producción estimada de biogás.....	95
11. Presupuesto de construcción.....	95
12. Análisis financiero .....	97

### Cuadros

Cuadro A-1	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biomasa disponible .....	79
Cuadro A-2	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biomasa disponible y producción de biogás.....	85
Cuadro A-3	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): dimensiones de las estructuras principales del sistema de biodigestión .....	85

Cuadro A-4	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): costo del sistema de biodigestión .....	86
Cuadro A-5	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): beneficios totales del sistema de biodigestión.....	87
Cuadro A-6	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión .....	88
Cuadro A-7	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biomasa disponible .....	90
Cuadro A-8	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biomasa disponible y producción de biogás.....	95
Cuadro A-9	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): dimensiones de las estructuras principales del sistema de biodigestión.....	95
Cuadro A-10	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): costo del sistema de biodigestión .....	95
Cuadro A-11	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): beneficios totales del proyecto de biodigestión.....	97
Cuadro A-12	Comunidad Las Puertas Chachas, Cabañas, El Salvador: período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión.....	97

## Diagramas

Diagrama A-1	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): plano de edificaciones .....	79
Diagrama A-2	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): instalaciones del biodigestor.....	80
Diagrama A-3	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): elementos del biodigestor .....	80
Diagrama A-4	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): tanque de mezcla.....	81
Diagrama A-5	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biodigestor .....	82
Diagrama A-6	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): laguna de descarga y separador de sólidos.....	82
Diagrama A-7	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): patio de secado de lodos .....	83
Diagrama A-8	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): edificaciones existentes en la Escuela de Dolores, Cabañas.....	90
Diagrama A-9	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): sistema de biodigestión .....	91
Diagrama A-10	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): tanque de mezcla.....	91
Diagrama A-11	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biodigestor .....	92
Diagrama A-12	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): detalle de biodigestores .....	92
Diagrama A-13	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): patio de secado de lodos .....	93

## Mapas

Mapa A-1	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): ubicación geográfica .....	77
Mapa A-2	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): ubicación geográfica (acercamiento).....	78
Mapa A-3	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): ubicación.....	88
Mapa A-4	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): ubicación.....	89

## Imágenes

Imagen A-1	Biodigestor tipo Taiwán .....	81
Imagen A-2	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biodigestor patio de secado de lodos.....	83
Imagen A-3	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): clarificador y laguna de descarga.....	84
Imagen A-4	Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): imagen de conjunto del sistema de biodigestión .....	84
Imagen A-5	Ejemplo de biodigestores protegidos por una estructura .....	93
Imagen A-6	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biodigestores y patio de secado .....	94
Imagen A-7	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): clarificación y laguna de descarga.....	94
Imagen A-8	Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): imagen de conjunto del sistema de biodigestión .....	94



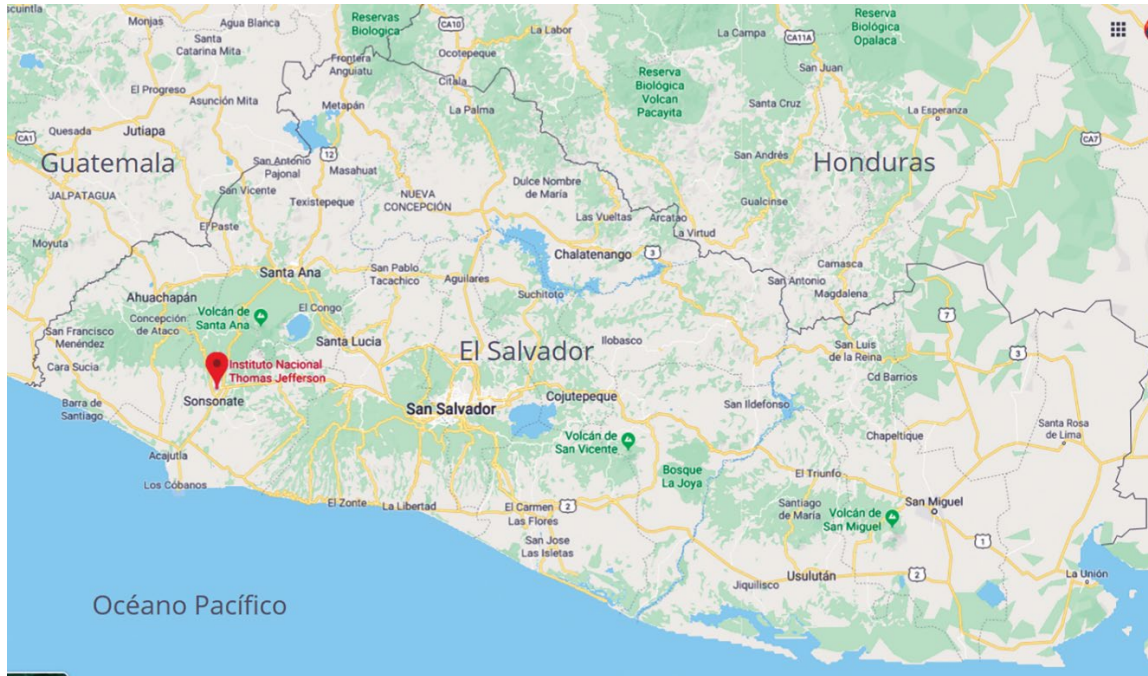
## A. Instituto Nacional Thomas Jefferson

### 1. Ubicación

El Instituto Nacional Thomas Jefferson se encuentra ubicado en el departamento de Sonsonate (véase el mapa A-1). La Granja está ubicada a la altura del km 56, en el Cantón Santa Emilia de la ciudad de Sonsonate (véase el mapa A-2).

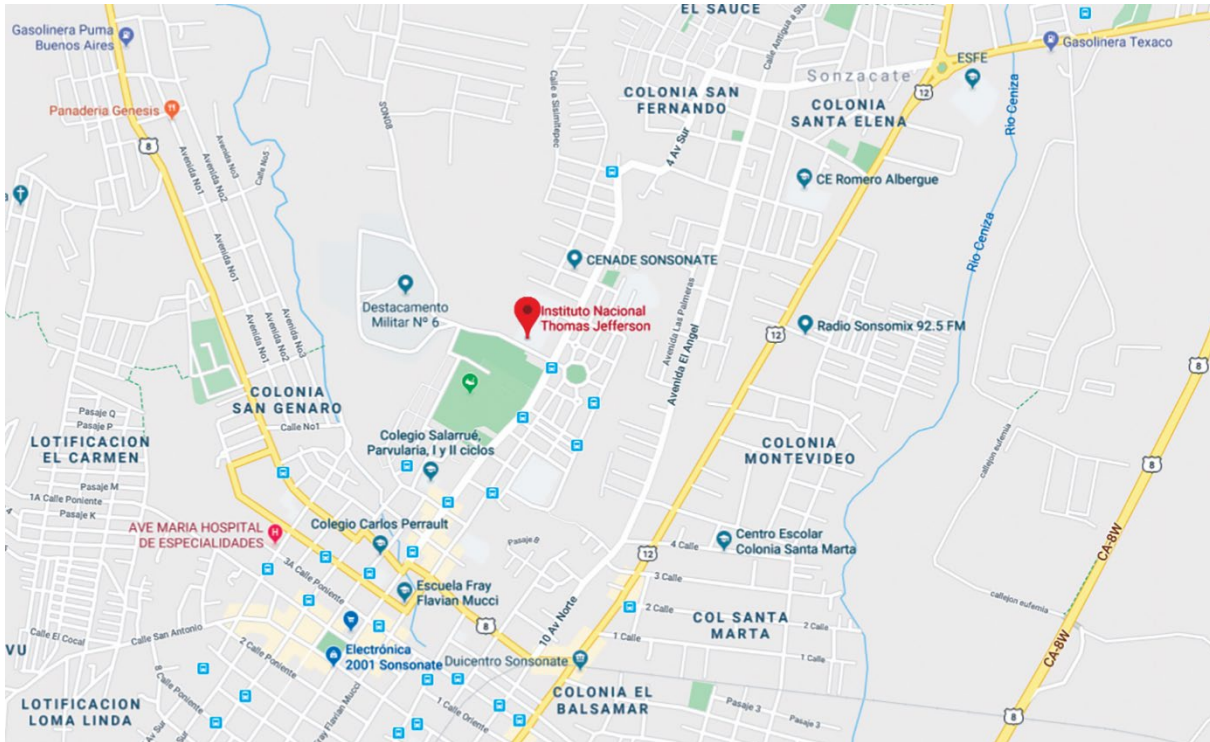
Mapa A-1

Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): ubicación geográfica



Fuente: Google Maps, 2019.

**Mapa A-2**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**ubicación geográfica (acercamiento)**



Fuente: Google Maps, 2019.

## 2. Descripción del sitio

El Instituto cuenta con 72 docentes, 5 técnicos para la granja, 6 bodegas y vigilancia permanente en la Granja, así como 45 estudiantes del bachillerato agropecuario. El terreno es plano, con un manto freático superficial (60 cm aproximadamente). No existe riesgo de inundaciones ni de deslizamiento, ni de incendios forestales. Hay un pozo y se encuentra un río cercano, además se cuenta con agua potable. La actividad de la granja es permanente, debido a que el personal técnico y los alumnos se organizan en grupos y trabajan también en días festivos.

En promedio se utilizan 200 kg de fertilizantes por temporada de cultivo, dedicándose principalmente a maíz, yuca, pepino y rábanos, y se dispone de 1 a 1,5 manzanas de tierra de cultivo. Hay un aula donde se dedican al procesamiento de productos agropecuarios, utilizando leña como principal fuente de energía para actividades de cocción. Es en esta área para proyectos de agroindustria donde se puede aprovechar el biogás.

## 3. Disponibilidad de biomasa

La granja cuenta con una producción animal de 44 bovinos, 5 cerdos, 500 gallinas ponedoras, 200 pollos y 20 conejas reproductoras, además de aprovechar también los residuos de poda, con lo que se obtiene un aproximado de 600 kg de residuos diariamente. El cuadro A-1 muestra el total de kilogramos de residuos recolectados por día, así como los valores de masa seca y masa volátil (de acuerdo con datos teóricos) de cada tipo de sustrato.



**Cuadro A-1**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biomasa disponible**

Animales	Peso x (adultos) (kg)	Total de animales	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total (kg/día)	Teórico (En porcentajes)		Base máximo teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	318	44	22	12	528	8-10	90-95	52,8	50,16
Cerdos	125-160	5	4	4	20	4-6	90-95	1,2	1,14
Gallinas ponedoras en piso	2	500	Se recolecta cada tres semanas	318,18	10,61	30	65,52-71,21	3,18	2,23
Pollos	2	200	Se recolecta cada cuatro semanas	772,73	25,76	87	83,11	22,41	18,6
Conejos	3	20	0,35	0,35	7	28-50	64-85	3,5	2,98
Residuos de poda recolectable por semana		181,82		25,97	25,97	11,68	80,87	3,03	2,45
Total máximo de residuos aprovechable/día					600			86,12	75,1

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. Descripción del sistema de biodigestión

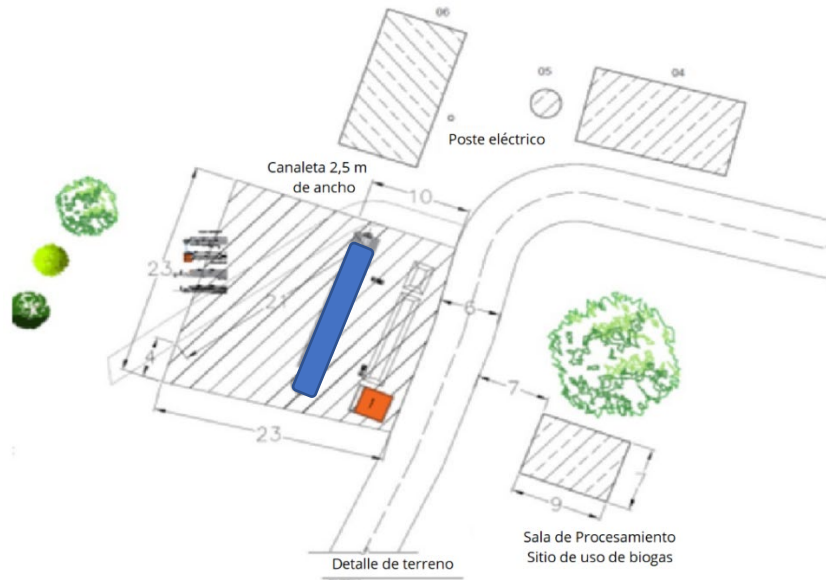
En el diagrama A-1 se puede observar una vista general de la granja, donde se muestran las edificaciones existentes: administración, servicios sanitarios, aulas, talleres, pozo, sala de maternidad de cerdos, sala de procesamiento, sala de engorde de cerdos, dos galpones, sala de terneros, dos comederos y el establo. Las instalaciones del biodigestor dentro de la Granja del Instituto Nacional Thomas Jefferson se ilustran en el diagrama A-2.

**Diagrama A-1**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): plano de edificaciones**



**Fuente:** Elaboración propia.

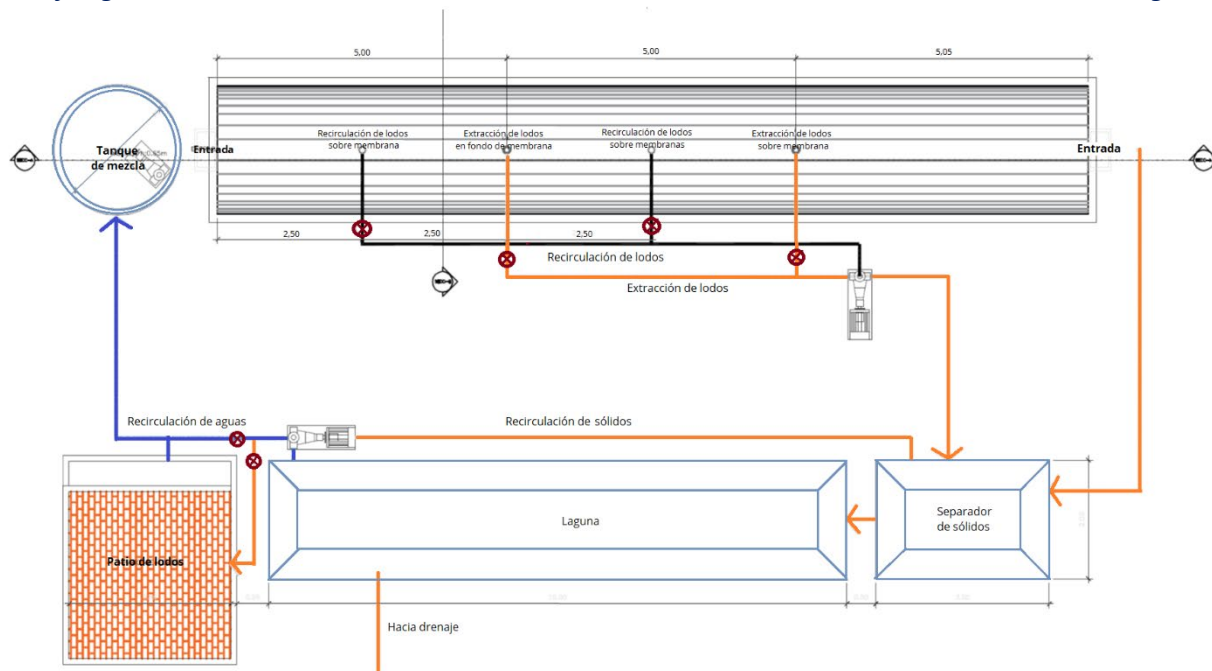
**Diagrama A-2**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**instalaciones del biodigestor**



**Fuente:** Elaboración propia.

El sistema estará conformado por un tanque de mezcla, un biodigestor, un separador de sólidos, una laguna y un patio de secado de lodos (véase el diagrama A-3).

**Diagrama A-3**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**elementos del biodigestor**

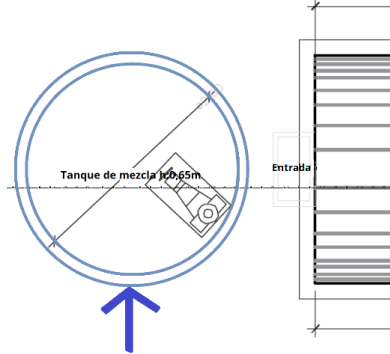


**Fuente:** Elaboración propia.

## 5. Tanque de mezcla

Se ha previsto la construcción de un tanque de homogenización o mezcla para la alimentación del sistema de biodigestión. Este tanque estará ubicado en la zona alta del terreno y deberá contar con fácil acceso. Se utilizará un tanque Rotoplas de 2 m de diámetro para realizar la mezcla de las diferentes biomazas. Contará con un motor agitador y tubería de PVC para inyectar la materia al biodigestor (véase el diagrama A-4).

**Diagrama A-4**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**tanque de mezcla**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 6. Biodigestor

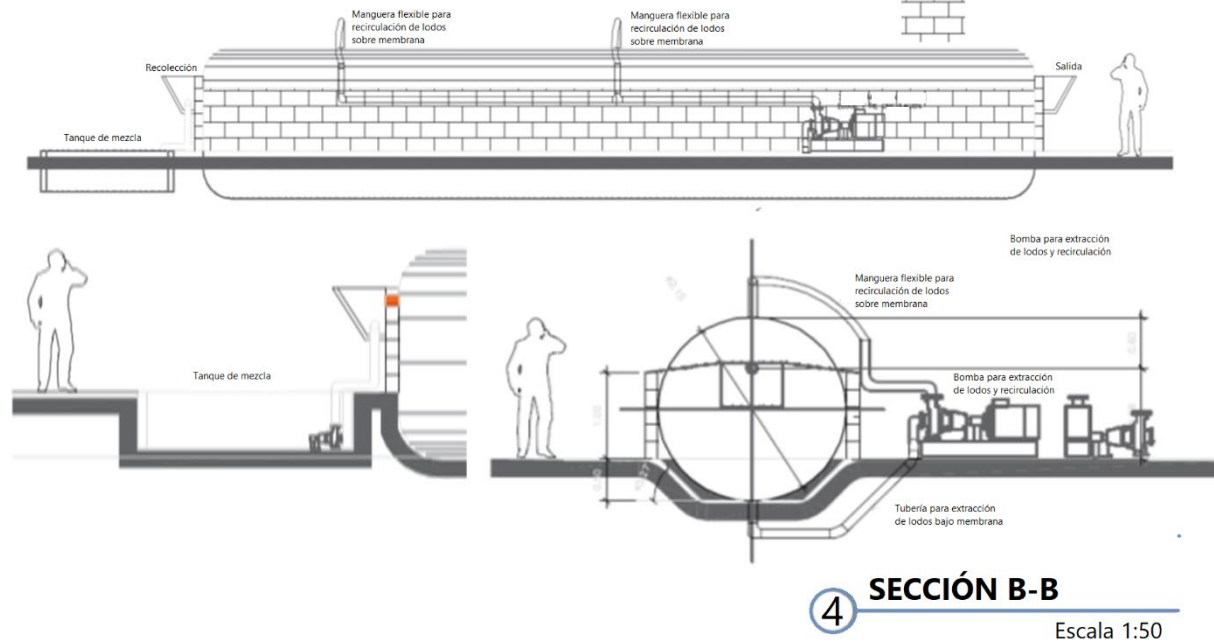
Se utilizará un biodigestor prefabricado tipo salchicha con dimensiones de 2,15 m de diámetro y 15,05 m de largo, con un volumen de 54,64 m<sup>3</sup> (véase la imagen A-1). La membrana del biodigestor será de plastilona antihongos y con protección y resistencia de rayos UV. La tubería será de PVC con sus respectivas válvulas. Contará con manguera flexible para la circulación y recirculación de lodos sobre la membrana y una bomba eléctrica para la extracción y recirculación de lodos. Los detalles del biodigestor se muestran en el diagrama A-5.

**Imagen A-1**  
**Biodigestor tipo Taiwán**



**Fuente:** Schemi Ingeniería [en línea] <https://shemi.co/portfolio-item/biodigestores-taiwan-y-lagunar/>.

**Diagrama A-5**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biodigestor**

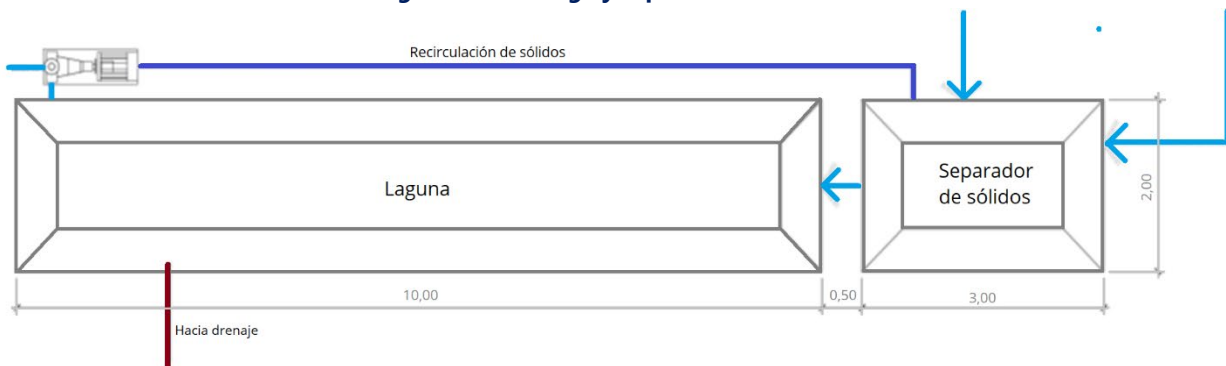


Fuente: Elaboración propia.

## 7. Laguna de descarga

Se construirá una laguna de 10m x 2m x 0,5m equivalente a 10 m<sup>3</sup>, que contará con una bomba eléctrica para extraer y recircular el agua, y se utilizará un tanque Rotoplas de 3 m x 2 m x 0,5 m (equivalentes a 3 m<sup>3</sup>) como separador de sólidos (véase el diagrama A-6).

**Diagrama A-6**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): laguna de descarga y separador de sólidos**



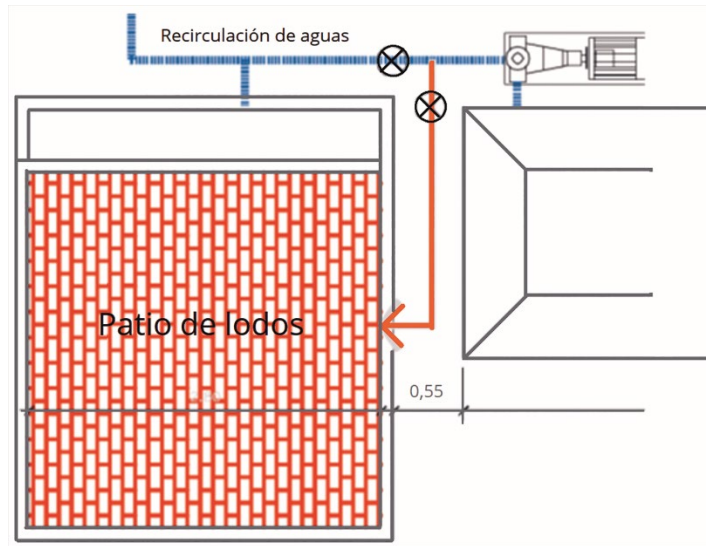
Fuente: Elaboración propia.

## 8. Patio de secado de lodos

Para extraer y recircular los lodos se utilizará una bomba eléctrica y para disponer de ellos se construirá un patio de secado con cuatro cámaras de 1,5 m de largo por 0,75 m de ancho, por 0,5 m de profundidad, lo que da un total de 2,25 m<sup>3</sup> de volumen de patio (véase el diagrama A-7).

**Diagrama A-7**

**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): patio de secado de lodos**

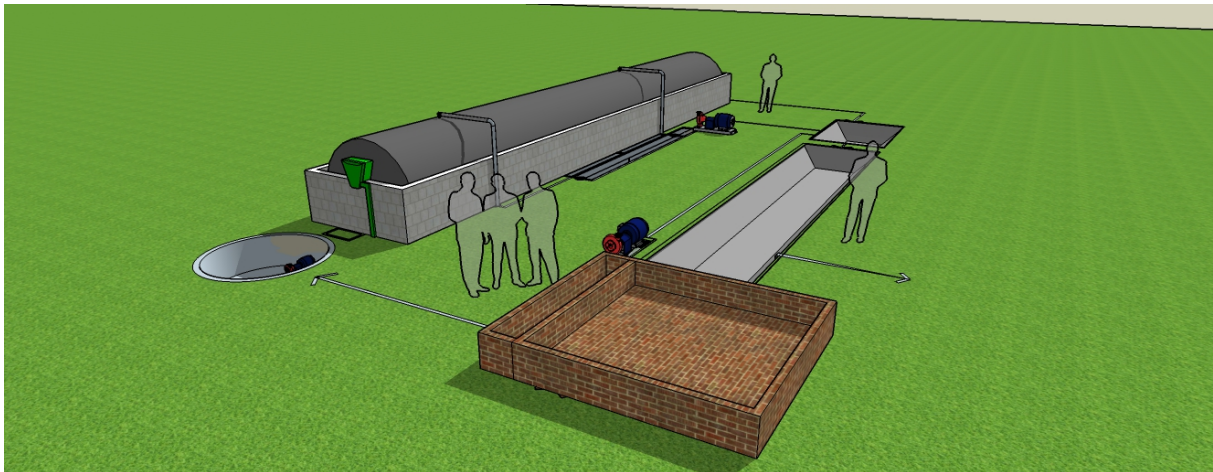


**Fuente:** :Elaboración propia.

En las imágenes A-2, A-3 y A-4 se muestran diferentes esquemas del sistema de biodigestión para la granja del Instituto Nacional Thomas Jefferson.

**Imagen A-2**

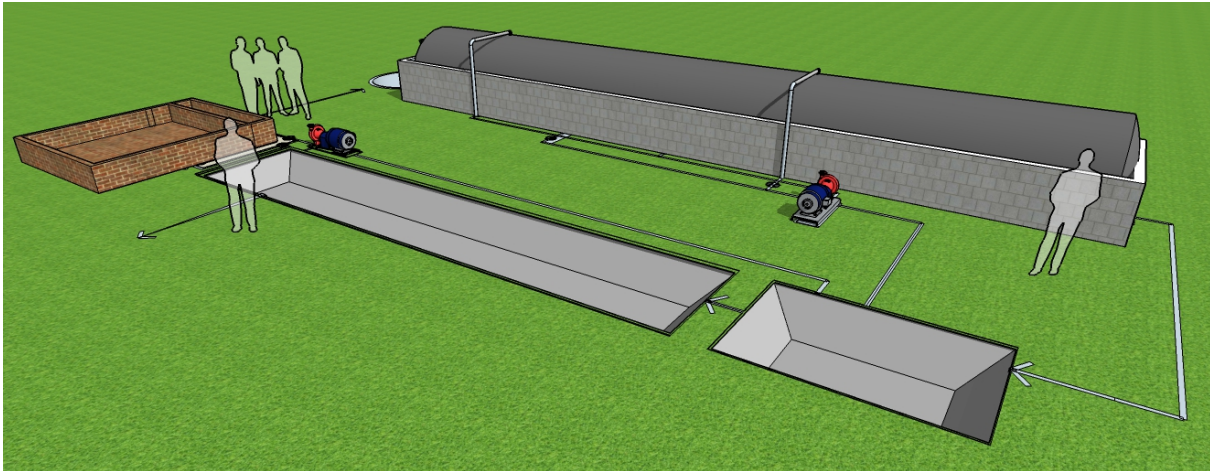
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador): biodigestor patio de secado de lodos**



**Fuente:** Elaboración propia.

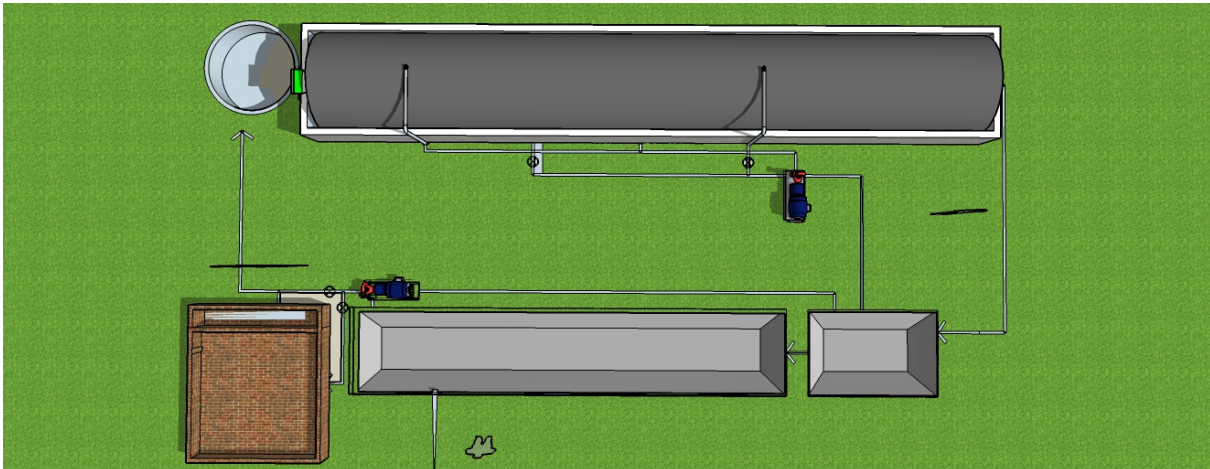


**Imagen A-3**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**clarificador y laguna de descarga**



**Fuente:** :Elaboración propia.

**Imagen A-4**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**imagen de conjunto del sistema de biodigestión**



**Fuente:** :Elaboración propia.

## 9. Producción estimada de biogás

De acuerdo con el total de residuos aprovechables, la producción estimada de biogás es de 12.045 m<sup>3</sup> anuales (véase el cuadro A-2).

**Cuadro A-2**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**biomasa disponible y producción de biogás**

Animales	Peso X (adultos) (kg)	Total de animales	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total (kg/día)	Teórico (en porcentajes)		Base máximo teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	318	44	22	12	528	8-10	90-95	52,80	50,16
Cerdos	125-160	5	4	4	20	4-6	90-95	1,20	1,14
Gallinas ponedoras en piso	2	500	Se recolecta cada tres semanas	318,18	10,61	30	65,52-71,21	3,18	2,23
Pollos	2	200	Se recolecta cada cuatro semanas	772,73	25,76	87	83,11	22,41	18,60
Conejos	3	20	0,35	0,35	7	28-50	64-85	3,50	2,98
Residuos de poda recolectable/semana		181,82		25,97	25,97	11,68	80,87	3,03	2,45
Total máximo de residuos aprovechable/día					600			86,12	75,10

**Fuente:** Elaboración propia.

## 10. Presupuesto de construcción

En el cuadro A-3 se muestran las dimensiones de las estructuras principales del Sistema de Biodigestión y el cuadro A-4 muestra los costos de construcción del proyecto.

**Cuadro A-3**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**dimensiones de las estructuras principales del sistema de biodigestión**

Estructuras						
Tanque de homogenización	Diámetro	1,55 m	Alto	1,60 m	Volumen	2,6 m
Biodigestor	Ancho	2,15 m	Largo	15,05 m	Profundidad	0,5 m
Excavación biodigestor	Metros cúbicos	19,41 m				
Muro perimetral	Ancho	2,25 m	Largo	15,5 m	Altura	1,1 m
Clarificador	Diámetro	1,10 m	Alto	1,87 m		
Laguna de descarga	Ancho	2,00 m	Largo	10,0 m	Profundidad	0,5 m

**Fuente:** Elaboración propia.



**Cuadro A-4**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**costo del sistema de biodigestión**

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo unitario (en dólares)	Total (en dólares)
<b>Tanque de mezcla</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	3	12	36,95
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	1	25	25,00
Tanque prefabricado	Unidad	1	700	700,00
Homogeneizador	Unidad	1	2 000	2 000,00
Bomba de alimentación	Unidad	1	3 000	3 000,00
Subtotal				5 761,95
<b>Biodigestor</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	19.4	12	232,97
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	45.3	12	543,61
Geotextil	m <sup>2</sup>	75.0	5	375,00
Biodigestor prefabricado	Unidad	1.0	3 600	3 600,00
Muro perimetral	m	65.0	125	8 125,00
Bomba de recirculación de lodos	Unidad	1.0	1 800	1 800,00
Tubería de PVC	m	43.0	18	774,00
Subtotal				15 450,58
<b>Clarificador</b>				
Tolva prefabricada 1.3 m3	Unidad	1	600	600,00
Armazón de metal	Unidad	1	250	250,00
Bases de concreto	Unidad	1	125	125,00
Subtotal				975,00
<b>Laguna de descarga</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	22	12	264,00
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	2	12	24,00
Geotextil	m <sup>2</sup>	75	5	375,00
Membrana de fondo	Unidad	1	1 400	1 400,00
Bomba de recirculación	Unidad	1	1 200	1 200,00
Subtotal				3 263,00
<b>Patio de secado de lodos</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	6	12	72,00
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	2	12	24,00
Geotextil	m <sup>2</sup>	30	5	150,00
Membrana de fondo	Unidad	1	230	230,00
Bomba de recirculación	Unidad	1	1 200	1 200,00
Subtotal				1 676,00
<b>Aprovechamiento de biogás</b>				
Soplador	Unidad	1	800	800,00
Limpieza de biogás	Unidad	1	300	300,00

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo unitario (en dólares)	Total (en dólares)
Tuberías y mangueras de conducción	Total	75	5	375,00
Válvulas de presión	Total	1	125	125,00
Cocinas	Unidad	2	125	250,00
Generador de energía eléctrica	Unidad	0	12 000	\$-
Sistemas de compresión y embotellado de biogás	Unidad	0	14 000	\$-
Subtotal				1 850,00
Conexiones eléctricas				5 600,00
Imprevistos				1 500,00
Total de costos del sistema de biodigestión				36 076,53

**Fuente:** Elaboración propia.

## 11. Análisis financiero

El análisis financiero del sistema de biodigestión se muestra en el cuadro A-5.

**Cuadro A-5**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**beneficios totales del sistema de biodigestión**

Beneficios del proyecto	Valor (en dólares)
Gasto anual en consumo de leña	840,00
Ingresos por venta de combustible	7 485,35
Subtotal ingresos	8 325,35
<b>Producción de fertilizantes</b>	
Total toneladas por año	32,85
Ingresos por fertilizante sólido por año	2 168,10
Producción de fertilizante líquido por año	36 500
Ingresos por litro	0,20
Total fertilizantes	7 300,00
Total ingresos potenciales	17 793,45
Costos de operación	4 448,36
Ingresos netos	13 345,09
Inversión	36 076,53
Período de recuperación (años)	2,7

**Fuente:** Elaboración propia.

El cuadro A-6 muestra el período de recuperación de la inversión en el caso de que el biogás se utilizara únicamente para sustitución de gas propano o para generación de energía eléctrica. Como se puede ver en el cuadro A-6, en caso de que el biogás se utilizara exclusivamente para sustituir gas propano, el proyecto se podría recuperar en un período de cinco años sin incluir los

ingresos por la venta de fertilizantes orgánicos. En el caso de que el biogás se utilizara únicamente para la generación de energía eléctrica, se podría generar una potencia de 10 kW por un período determinado de horas al día y la recuperación del proyecto se daría en nueve años.

**Cuadro A-6**  
**Granja Agrícola del Instituto Nacional Thomas Jefferson (Sonsonate, El Salvador):**  
**período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión**

Combustible	Unidad	Kcal/m <sup>3</sup>	Lbs GLP	\$/unidad	Valor (en dólares)	Anual (en dólares)	Recuperación
Producción estimada de biogás por día	40 m <sup>3</sup>	6 333	1	0.43	21	7 485,35	Cinco años
Equivalente en energía eléctrica	80 kWh			0.14	11.2	4 088,00	Nueve años
Potencia eléctrica 8 horas	10 kW						

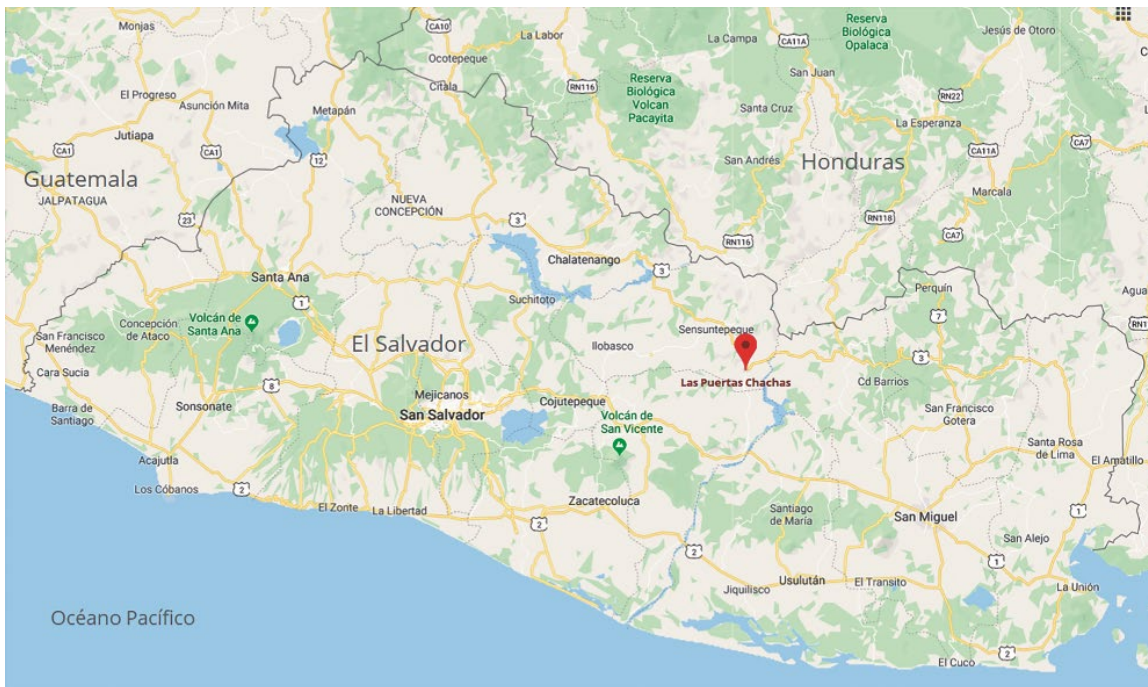
**Fuente:** Elaboración propia.

## B. Las Puertas Chachas

### 1. Ubicación

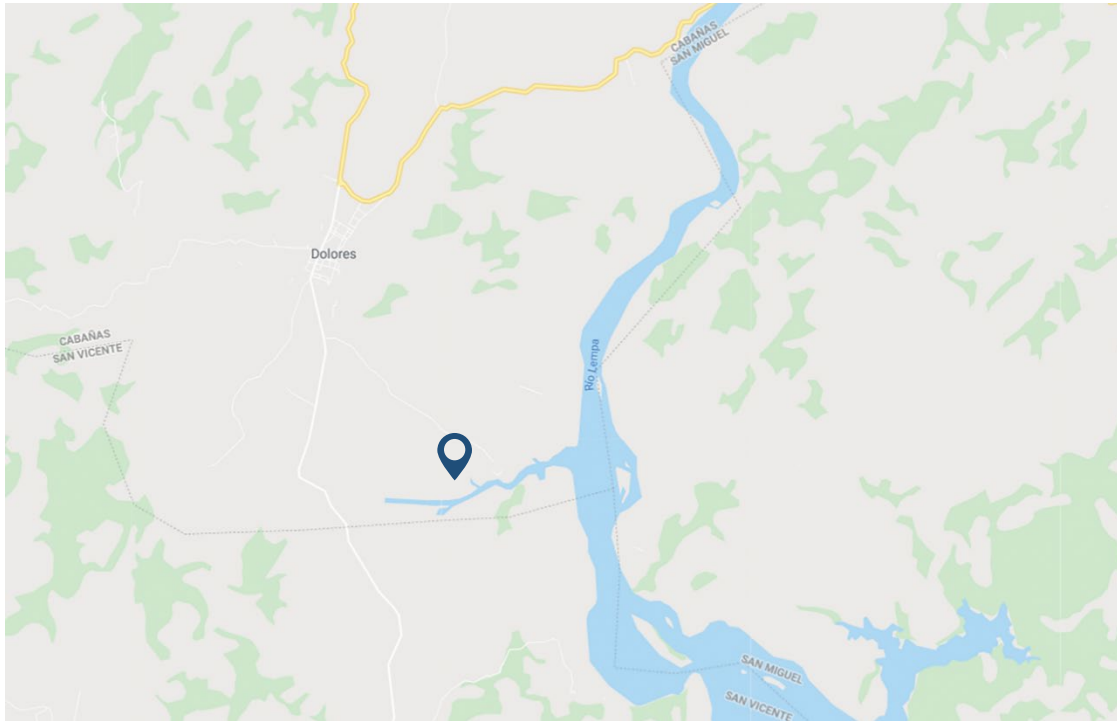
La comunidad Las Puertas Chachas pertenece al municipio de Dolores, ubicado en el departamento de Cabañas. Se encuentra a 120 km de distancia de San Salvador y a 18 km de distancia de su cabecera departamental, Sensuntepeque. De acuerdo con el censo oficial de 2007 contaba con una población de 6.347 habitantes.

**Mapa A-3**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): ubicación**



**Fuente:** Google Maps 2019.

**Mapa A-4**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): ubicación**



**Fuente:** Google Maps 2019.

## 2. Descripción del sitio

Para llegar al lugar, tanto la carretera como la calle de terracería se encuentran en buen estado y son de fácil acceso. La comunidad está conformada por 46 familias (230 personas aproximadamente). El terreno es bastante plano con algunas lomas. No existe riesgo de incendios forestales y hay poco riesgo de inundaciones y deslizamientos. Durante inviernos intensos existe alto riesgo de sequía. Hay agua, pero en menor medida desde hace un año. También hay nacimientos de agua, pozos artesanales y una quebrada cercana. La escuela imparte clases desde jardín de niños hasta noveno grado, tiene un comedor escolar y se realiza cosecha de agua de lluvia.

Se utilizan dos sacos de fórmula y tres sacos de sulfato como fertilizantes por temporada de cultivo, con un costo de 800 dólares por manzana para todo el proceso. Se dedican únicamente a cultivos de maíz y maicillo, entre 0,5 y 1 manzana de tierra por familia. Los cultivos son limitados a una cosecha en la época de invierno por falta de agua en la zona. Se utiliza un tambo de gas propano por familia al mes. El consumo es mínimo, ya que se usa esporádicamente para actividades específicas. Por otra parte, el consumo de leña es alto, por lo que resulta ser la principal fuente de energía utilizada para actividades de cocción. La recolección de leña es familiar.

### 3. Disponibilidad de biomasa

La comunidad cuenta con siete ganaderías, pero solo se recolectarán residuos de las más cercanas a la escuela, que es el lugar donde se implementará el biodigestor, para obtener 182 kg de residuos aproximadamente. El cuadro A-7 muestra el total de kilogramos de residuos recolectados por día, así como los valores de masa seca y masa volátil (según datos teóricos) de cada tipo de sustrato.

**Cuadro A-7**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biomasa disponible**

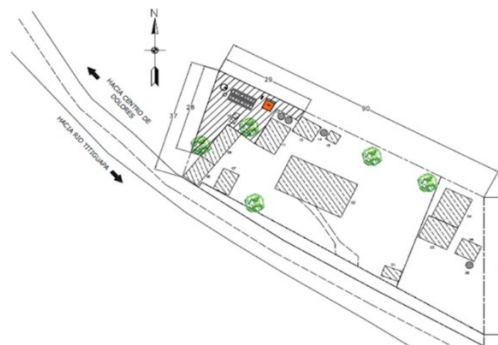
Animales	Peso x (adultos) (kg)	Total de animales	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total (kg/día)	Teórico (en porcentajes)		Base máximo teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	300 lb de estiércol pueden recolectarse en área cercana			136,36	136,36	8-10	90-95	13,664	12,95
Desechos de comedor				45,45	45,45			6,90	6,56
Cerdos						4-6	90-95	0	0
Gallinas						30	65,52-71,21	0	0
Pollos						87	83,11	0	0
Conejos						28-50	64-85	0	0
Total máximo de residuos aprovechables por día					181,82			20,54	19,51

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4. Descripción del sistema de biodigestión

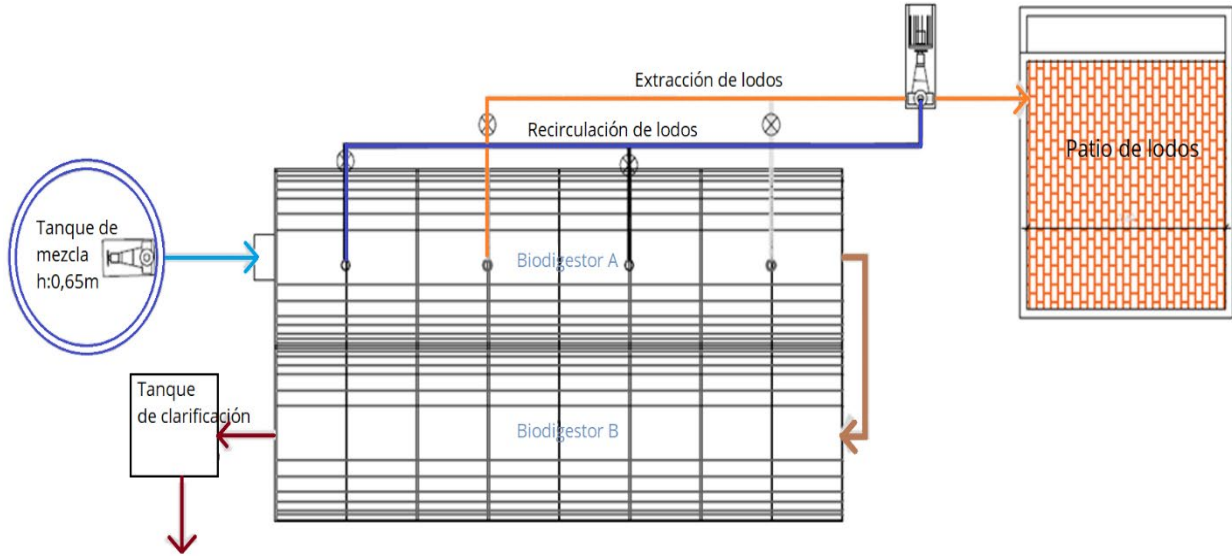
En el diagrama A-8 puede observarse una vista general de la planta con las edificaciones existentes: cafetín, aulas, aula abierta, servicio sanitario, tanque de agua, cocina, comedor, pozo. El sistema estará conformado por un tanque de mezcla, dos biodigestores, tanque de clarificación y un patio de secado de lodos (véase el diagrama A-9).

**Diagrama A-8**  
**Comunidad Las Puertas Chachas, Cabañas, El Salvador:**  
**edificaciones existentes en la Escuela de Dolores, Cabañas**



**Fuente:** :Elaboración propia.

**Diagrama A-9**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): sistema de biodigestión**

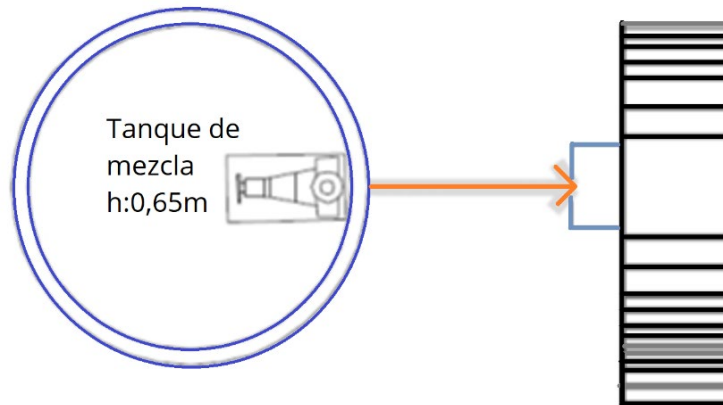


**Fuente:** Elaboración propia.

## 5. Tanque de mezcla

Se ha previsto la construcción de un tanque de homogenización o mezcla para la alimentación del sistema de biodigestión. Este tanque estará ubicado en la zona alta del terreno y deberá contar con fácil acceso. Se utilizará un tanque Rotoplas de 2.0 m de diámetro para realizar la mezcla de las diferentes biomásas. Contará con un motor agitador eléctrico portátil y tubería PVC para inyectar la materia al biodigestor (véase el diagrama A-10).

**Diagrama A-10**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): tanque de mezcla**



**Fuente:** Elaboración propia.



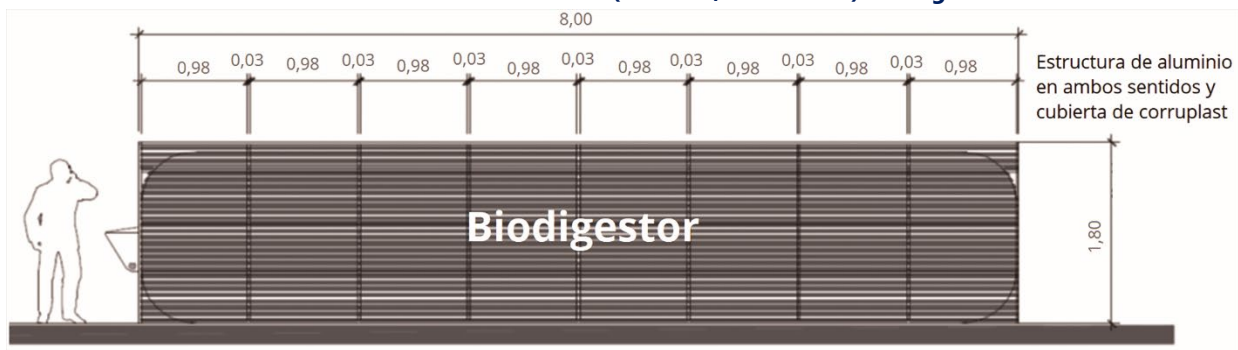
## 6. Biodigestor

Se utilizarán dos biodigestores prefabricados con dimensiones de 8 m de largo x 2 m de diámetro x 1,8 m de alto, con un volumen de 28,80 m<sup>3</sup>. Su membrana será de plastilona antihongos y con protección y resistencia de rayos UV. La tubería será de PVC con sus respectivas válvulas. Contará con manguera flexible para la circulación y recirculación de lodos sobre la membrana y una bomba eléctrica para la extracción y recirculación de lodos. Además, se colocarán dentro de una estructura de protección en forma de invernadero.

## 7. Tanque de clarificación

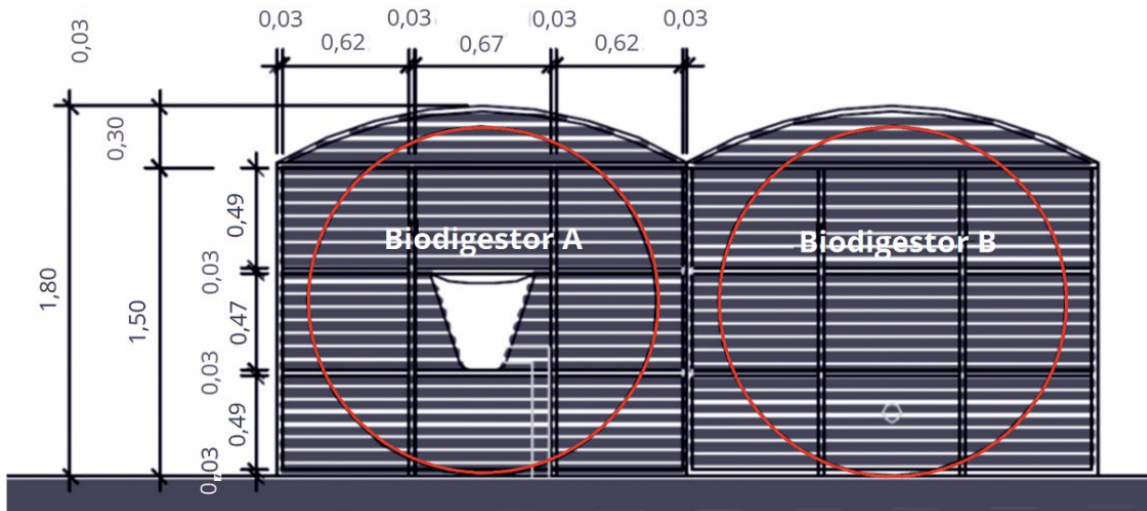
Se construirá un tanque de clarificación de 0,65 m de alto, como se ilustra en el diagrama A-11.

**Diagrama A-11**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biodigestor**



Fuente: Elaboración propia.

**Diagrama A-12**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): detalle de biodigestores**



Fuente: Elaboración propia.



**Imagen A-5**  
**Ejemplo de biodigestores protegidos por una estructura**

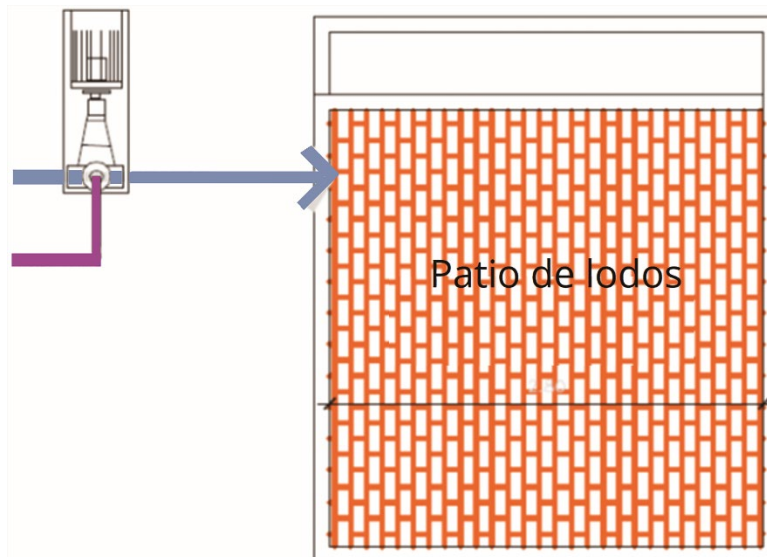


**Fuente:** Elaboración propia.

## 8. Patio de secado de lodos

Para extraer y recircular los lodos se utilizará una bomba eléctrica y para disponer de ellos se construirá un patio de secado con cuatro cámaras, con dimensiones de 1,5 m de largo, por 0,75 m de ancho, por 0,5 m de profundidad, totalizando 2,25 m<sup>3</sup> de volumen de patio. Se utilizará tubería PVC con sus válvulas (véase el diagrama A-13).

**Diagrama A-13**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): patio de secado de lodos**



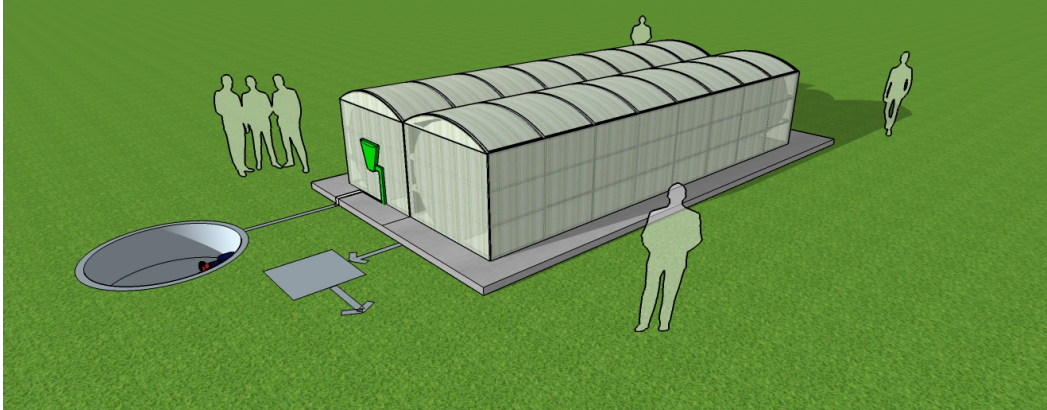
**Fuente:** Elaboración propia.

## 9. Diseño de biodigestor de Las Puertas Chachas

Las imágenes A-6, A-7 y A-8 muestran diferentes vistas del sistema de biodigestión para la comunidad Las Puertas Chachas.

**Imagen A-6**

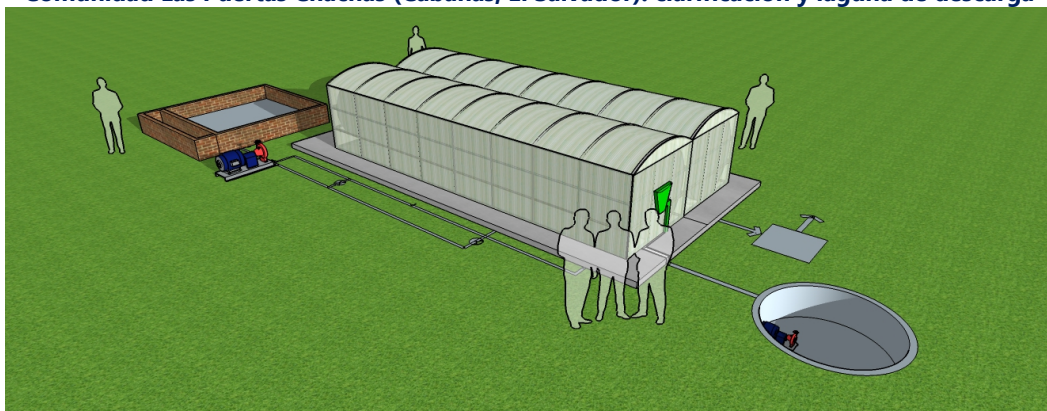
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biodigestores y patio de secado**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen A-7**

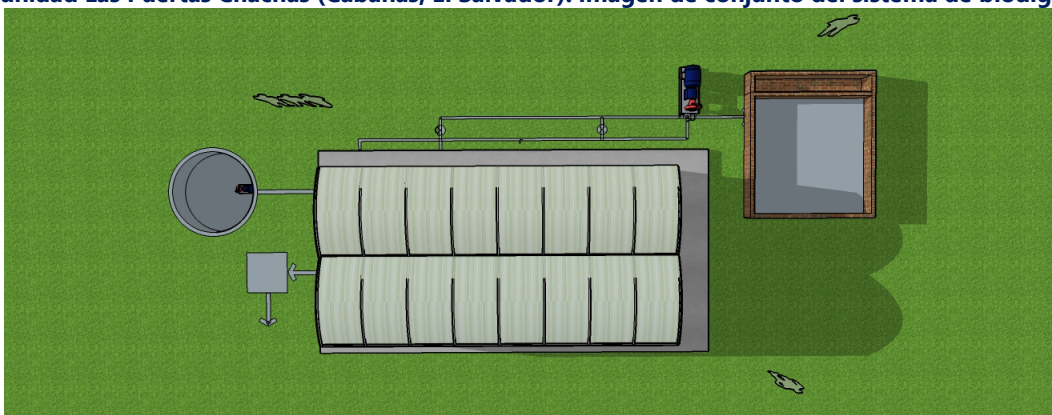
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): clarificación y laguna de descarga**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen A-8**

**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): imagen de conjunto del sistema de biodigestión**



**Fuente:** Elaboración propia.

## 10. Producción estimada de biogás

Se ha estimado la producción de biogás de acuerdo con el total de residuos aprovechables, misma que se refleja en el cuadro A-8.

**Cuadro A-8**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): biomasa disponible y producción de biogás**

Animales	Peso X (adultos) (kg)	Total de (animales)	Estiércol producido (kg/día)	Recolectable (kg/día)	Total (kg/día)	Teórico (en porcentaje)		Base máx teórico	
						MS	MV	MS (kg)	MV (kg)
Ganado	Se pueden recolectar 136 kg de estiércol en áreas cercanas			136,36	136,36	8-10	90-5	13,64	12,95
Desechos de comedor				45,45	45,45			6,90	6,56
Cerdos						4-6	90-95	0	0
Gallinas ponedoras en piso						30	65,52-71,21	0	0
Pollos						87	83,11	0	0
Conejos						28-50	64-85	0	0
Total máximo de residuos aprovechable/día					181,82			20,54	19,51

**Fuente:** Elaboración propia.

## 11. Presupuesto de construcción

En el cuadro A-9 se presentan los costos de construcción del proyecto.

**Cuadro A-9**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador):**  
**dimensiones de las estructuras principales del sistema de biodigestión**

Estructuras						
Tanque de homogenización	Diámetro	1,55 m	Alto	1,6 m	Volumen	2,6 m
Biodigestor primario	Ancho	2 m	Largo	8 m	Profundidad	1,8 m
Biodigestor secundario	Ancho	2 m	Largo	4 m	Profundidad	1,8 m
Excavación biodigestor	Metros cúbicos	1,00 m				
Loza de concreto	Ancho	2,5 m	Largo	8,5 m	Altura	0,12 m
Clarificador	Diámetro	1,1 m	Alto	1,87 m		
Laguna de descarga	Ancho	0 m	Largo	0 m	Profundidad	0 m

**Fuente:** Elaboración propia.

**Cuadro A-10**  
**Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): costo del sistema de biodigestión**

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo unitario (en dólares)	Total (en dólares)
<b>Tanque de mezcla</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	3	12	36,95
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	1	25	25,00
Tanque prefabricado	Unidad	1	700	700,00
Homogeneizador	Unidad	1	2 000	2 000,00
Bomba de alimentación	Unidad	1	3 000	3 000,00
Subtotal				5 761,95

Concepto	Unidades	Cantidad	Costo unitario (en dólares)	Total (en dólares)
<b>Biodigestor primario</b>				
Excavación		1,00	12	12,00
Loza de cimentación de biodigestores	m <sup>3</sup>	2,55	650	1 657,50
Geotextil	m <sup>2</sup>	0	5	-
Biodigestor prefabricado	Unidad	1	9 000	9 000,00
Muro perimetral	m	0	125	-
Bomba de recirculación de lodos	Unidad	1	1 800	1 800,00
Tubería de PVC	m	40	18	720,00
Subtotal				3 189,50
<b>Biodigestor secundario</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	1,00	12	12,00
Loza de cimentación de biodigestores	m <sup>3</sup>	1,275	650	828,75
Geotextil	m <sup>2</sup>	0	5	-
Biodigestor prefabricado	Unidad	1	4 750	4 750,00
Muro perimetral	m	0	125	-
Bomba de recirculación de lodos	Unidad	0	1 800	-
Tubería de PVC	m	20	18	360,00
Subtotal				5 950,75
<b>Clarificador</b>				
Tolva prefabricada 1.3 m <sup>3</sup>	Unidad	1	600	600,00
Armazón de metal	Unidad	1	250	250,00
Bases de concreto	Unidad	1	125	125,00
Subtotal				975,00
<b>Laguna de descarga</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	0	12	-
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	0	12	-
Geotextil	m <sup>2</sup>	0	5	-
Membrana de fondo	Unidad	0	1 400	-
Bomba de recirculación	Unidad	0	1 200	-
Subtotal				-
<b>Patio de secado de lodos</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	6	12	72,00
Suelo cemento	m <sup>3</sup>	2	12	24,00
Geotextil	m <sup>2</sup>	30	5	150,00
Membrana de fondo	Unidad	1	230	230,00
Bomba de recirculación	Unidad	1	1 200	1 200,00
Subtotal				1 676,00
<b>Aprovechamiento de biogás</b>				
Soplador	Unidad	1	800	800,00
Limpieza de biogás	Unidad	1	300	300,00
Tuberías y mangueras de conducción	Total	75	5	375,00
Válvulas de presión	Total	1	150	150,00
Cocinas	Unidad	2	125	\$ 250,00
Generador de energía eléctrica	Unidad	0	12 000	-
Sistemas de compresión y embotellado de biogás	Unidad	0	14 000	-
Subtotal				1 875,00
Conexiones eléctricas				4 200,00
Imprevistos				1 200,00
Total sistemas de biodigestión				34 828,20

**Fuente:** Elaboración propia.



## 12. Análisis financiero

Cuadro A-11

Comunidad Las Puertas Chachas (Cabañas, El Salvador): beneficios totales del proyecto de biodigestión

Beneficios del proyecto	Valor (en dólares)
Gasto anual en consumo de leña	1 100,00
Ingresos por venta de combustible	4 678,34
Subtotal ingresos	5 778,34
<b>Producción de fertilizantes</b>	
Total toneladas por año	32,85
Precio por tonelada	2 168,10
Producción de fertilizante líquido	36 500
Ingresos por litro	0,20
Total fertilizantes	7 300,00
Total ingresos potenciales	15 246,44
Costos de operación	3 811,61
Ingresos netos	11 434,83
Inversión	34 828,20
Período de recuperación	Tres años

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro A-12 se muestra el período de recuperación de la inversión en el caso de que el biogás se utilizara únicamente para sustitución de gas propano o para generación de energía eléctrica.

Cuadro A-122

Comunidad Las Puertas Chachas, Cabañas, El Salvador:  
período de recuperación de la inversión del sistema de biodigestión

Combustible		Kcal/m <sup>3</sup>	Lbs GLP	Costo por unidad	Valor (en dólares)	Anual (en dólares)	Recuperación
Producción estimada de biogás por día	25 m <sup>3</sup>	6 333	1	0,43	13	4 678,34	Siete años
Equivalente en energía eléctrica	50 kWh			0,14	7	2 555,00	14 años
Potencia eléctrica 8 horas	6,25 kW						

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en el cuadro A-12, si el biogás se utilizara de forma exclusiva para sustituir gas propano, el proyecto se podría recuperar en un período de siete años, sin incluir ingresos por la venta de fertilizantes orgánicos. En el caso de que el biogás se utilizara exclusivamente para generar energía eléctrica, se podría tener una potencia de 6,25 kW por un período de ocho horas al día y el proyecto se recuperaría en 14 años.

En el presente informe se presentan los principales resultados de la evaluación de comunidades y centros escolares salvadoreños para la potencial implementación de biodigestores, la cual es resultado de los esfuerzos del Consejo Nacional de Energía (CNE) de El Salvador, la consultora Grupo Incomer y la CEPAL. Para la evaluación se contó con financiamiento del proyecto “Fortaleciendo las Capacidades de los Países Centroamericanos en la Preparación de Políticas y Estrategias Energéticas Sostenibles” (ROA 312-9A: 14/15 BD) de la Cuenta del Desarrollo de la Secretaría General de las Naciones Unidas.

El documento presenta información general sobre el biogás y los biodigestores, el proceso para la selección y evaluación de las comunidades y centros escolares de El Salvador con potencial para la implementación de biodigestores, la caracterización de las comunidades y centros escolares seleccionados y otras consideraciones sobre los biodigestores tales como posibles aplicaciones energéticas, limpieza y compresión del gas y riesgos y seguridad industrial, además de información sobre la institución educativa donde se implementó un proyecto piloto de biodigestor.



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)  
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)  
[www.cepal.org](http://www.cepal.org)