

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO



**USO EFICIENTE DE ENERGÍAS RENOVABLES NO
CONVENCIONALES A ESCALA DOMÉSTICA EN ÁREA
RURAL DEL MUNICIPIO DE YUCUAIQUÍN**

PRESENTADO POR:

ING. NEIL EDMUNDO GUTIÉRREZ MENDOZA
ING. OSCAR ABDALA REYES ROMERO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE)

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LCDO. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE POSGRADO

DIRECTOR:

MSc. ELMER ARTURO CARBALLO RUÍZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE

Título:

**USO EFICIENTE DE ENERGÍAS RENOVABLES NO
CONVENCIONALES A ESCALA DOMÉSTICA EN ÁREA
RURAL DEL MUNICIPIO DE YUCUAIQUÍN**

Presentado por:

ING. NEIL EDMUNDO GUTIÉRREZ MENDOZA

ING. OSCAR ABDALA REYES ROMERO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor(a):

**MSC. ANA MARÍA ELIZABETH DE LOS ÁNGELES GONZÁLEZ DE
MENJÍVAR**

SAN SALVADOR, MAYO 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor(a):

**MSC. ANA MARÍA ELIZABETH DE LOS ÁNGELES GONZÁLEZ DE
MENJÍVAR**

ÍNDICE

1. ÍNDICE DE GRAFICAS.....	5
2. ÍNDICE DE FIGURAS	7
3. ÍNDICE DE TABLAS.....	9
4. INTRODUCCIÓN	11
5. OBJETIVO GENERAL	13
6. OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
7. MARCO TEÓRICO	14
7.1 Contexto Energético de El Salvador	15
7.1.1 Estado actual de la electrificación rural en El Salvador	15
7.1.2 Sub Sector Eléctrico de El Salvador	16
7.1.3 Sub Sector Térmico de El Salvador.....	21
7.2 Evolución y Estado Actual de las Tecnologías Propuestas en El Salvador	23
7.2.1Sistemas Fotovoltaicos a Escala Domiciliar Rural	23
7.2.2Proyectos de Estufas Ahorradoras a Base de Leña	34
7.3 Descripción de Las Tecnologías Propuestas	43
7.3.1Sistemas Solares Fotovoltaicos	44
7.3.2Proceso de Generación de Biogás y Tipos de Biodigestores.....	52
7.3.3Estufas de Leña para Aprovechamiento de Biomasa.....	64
8 CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE YUCUAIQUÍN	72
8.2 Ubicación General y Posición Geográfica	72
8.3 Climatología.....	75
8.4 Hidrografía.....	81
8.5 Orografía	82
8.6 Vegetación.....	82
8.7 Fauna	83
8.8 Análisis Urbanístico	84
8.9 Usos de Suelo	86
8.10 Socio-económico.....	88
9 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE VIVIENDA MODELO.....	90
9.1 Introducción	90

9.2 Consulta a Entidades Clave.....	91
9.2.1 Consultas e Informaciones Recopiladas en el Consejo Nacional de Energía	91
9.2.2 Consulta e Informaciones Recopiladas en la Alcaldía Municipal de Yucuaiquín	96
9.2.3 Consulta e Informaciones Recopiladas en Empresas Distribuidoras de Electricidad.	96
9.3 Encuesta Digital Dirigida a la Población del Municipio de Yucuaiquín.....	96
9.3.1 Viviendas Encuestadas y Respuestas Recibidas.....	97
9.3.2 Características Demográficas.....	97
9.3.3 Grupo Ocupacional	101
9.3.4 Tenencia de la vivienda.....	102
9.3.5 Materialidad de la Vivienda	103
9.3.6 Tenencia y Acceso a Energía Eléctrica	106
9.3.7 Fuentes de Agua.....	107
9.3.8 Saneamiento	108
9.3.9 Tratamiento de la basura.....	109
9.3.10 Fuentes de combustible para cocinar.....	110
9.3.11 Disponibilidad de Materia Prima para Producción de Biogás	112
9.4 Visitas de Campo para observación directa sobre problemática local y condiciones de viviendas preseleccionadas	115
9.5 Conclusión de la vivienda modelo seleccionada	126
10 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN VIVIENDA MODELO	127
10.1 Criterios de selección.....	127
10.2 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Aislado	128
10.3 Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico	133
10.4 Dimensionamiento de las baterías solares (acumulador)	136
10.5 Dimensionamiento del Controlador de Carga	138
10.6 Dimensionamiento del Inversor	139
11 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VIVIENDA MODELO	143
11.1 Criterios de selección.....	143
11.2 Cálculo de cantidad de materia prima disponible	143
11.3 Elección del % de Sólidos Totales y la cantidad de agua necesaria	145

11.4 Sólidos totales y concentración del afluente.....	146
11.5 Tiempo de retención hidráulica y volumen de carga	147
11.6 Cálculo de producción diaria de biogás	148
11.7 Dimensionamiento de la Zanja y del Volumen Total del Biodigestor.....	150
11.7.1 Medidas disponibles de bolsas tubulares.....	151
11.7.2 Volumen del biodigestor tubular ubicado en una trinchera trapezoidal	153
11.7.3 Dimensiones paramétricas de un digestor tubular	154
11.7.4 Dimensiones para la campana de biogás	155
11.7.5 Dimensiones de la zanja	157
11.7.6 Optimización de las dimensiones de la zanja	158
11.7.7 Resultados y discusión.....	159
11.7.8 Equilibrio hidráulico.....	168
12 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE UNA ESTUFA EFICIENTE PARA VIVIENDA MODELO	170
13 PRE-FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS	174
14 CONCLUSIONES	185
15 RECOMENDACIONES	188
16 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189
ANEXOS	190

1. ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 7.1: Porcentaje de Hogares con acceso y tenencia de energía eléctrica, según área geográfica para el año 2020.	15
Gráfica 7.2: Suministro total de energía primaria por sector, año 2020.....	22
Gráfica 7.3: Consumo final de energía por sector, año 2020.....	23
Gráfica 7.4: Hogares por tipo de combustible para cocinar, según área geográfica (Porcentaje)...	43
Gráfica 7.5: Rendimiento potencial de biogás por tipo de biomasa (m^3 biogás / TM).	63
Gráfica 8.1: Comportamiento de la temperatura a 2 metros de la superficie.....	76
Gráfica 8.2: Comportamiento de la velocidad del viento a 2 metros de la superficie.....	78
Gráfica 8.3: Comportamiento de la velocidad del viento a 2 metros de la superficie.....	79
Gráfica 8.4: Promedio de lluvias (mm) registradas en el municipio de Yucuaiquín.....	81
Gráfica 9.1: Áreas servidas por distribuidoras de electricidad.....	92
Gráfica 9.2: Kilómetros de línea empresas distribuidoras de electricidad.....	93
Gráfica 9.4: Hogares que respondieron la encuesta digital por Caserío.....	99
Gráfico 9.5: Porcentaje de la población encuestada según sexo.....	101
Gráfico 9.6: Caracterización de la población ocupada, por rama de actividad económica.....	102
Gráfico 9.6: Hogares por forma de tenencia de vivienda.....	103
Gráfico 9.7: Hogares por material de vivienda, paredes.....	104
Gráfico 9.8: Hogares por material de vivienda, techo.....	105
Gráfico 9.9: Hogares por material de vivienda, piso.....	106
Gráfico 9.10: Porcentaje de familias que no tienen acceso a energía eléctrica.....	107
Gráfico 9.11: Hogares con acceso y tenencia de agua por tipo de fuente.....	108
Gráfico 9.12: Hogares con acceso y tenencia de servicios sanitarios.....	109
Gráfico 9.13: Hogares con tipo de tratamiento de la basura.....	110
Gráfico 9.14: Hogares por tipo de combustible para cocinar.....	111
Gráfico 9.15: Hogares por obtención de la leña para cocinar.....	111
Gráfico 9.16: Número de familias encuestadas que poseen animales de granja.....	112
Gráfico 9.17: Tipo de cultivos que siembran las familias encuestadas.....	113
Gráfico 9.18: Tipo de cultivos que siembran las familias encuestadas.....	114
Gráfica 11.1: Variación de la ST_z/ST_T con f_b para diferentes α en el caso de $f_c = 1.2$	159

Gráfica 11.2: Variación de CSz/CSt, CSC/CSt y CSBDG/CStm con a para $f_c=1.2$ fijo. 160

Gráfica 11.3: Variación de ST_Z/ST_T , ST_C/ST_T y ST_{BDG}/ST_T con f_c para $\alpha =7.5^\circ$ fijo. 162

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.1: Instalación de un sistema fotovoltaico aislado en hogar rural.....	25
Figura 7.2: Biodigestor con el plástico cobertor dañado.....	32
Figura 7.3: Incorporación de cocinas a base de biogás en hogares rurales.	33
Figura 7.4: Sistema de biodigestor y cocina a base de biogás.....	33
Figura 7.5: Fogón abierto Tipo 1.....	35
Figura 7.6: Fogón abierto Tipo 2.....	36
Figura 7.7: Estufa tipo Lorena.....	37
Figura 7.8: Estufa tipo Chefina.....	38
Figura 7.9: Estufa tipo Finlandia.	39
Figura 7.10: Estufa tipo Armenia.	40
Figura 7.11: Diseño de la Eco – Cocina.	41
Figura 7.12: Diseño de la Turbo - Cocina.	42
Figura 7.13: Partes de un módulo fotovoltaico.	45
Figura 7.14: Tecnologías de paneles fotovoltaicos.....	45
Figura 7.15: Reguladores de carga PWM y MPPT.	46
Figura 7.16: Inversor solar.	47
Figura 7.17: Batería solar.....	48
Figura 7.18: Módulos fotovoltaicos montados en estructura metálica.	49
Figura 7.19: Diagrama característico de un sistema fotovoltaico aislado.....	50
Figura 7.20: Componentes de un sistema conectado a la red.	51
Figura 7.21: Generación de Biomasa.....	53
Figura 7.23: Proceso de degradación de la materia orgánica.	56
Figura 7.24: Planta de biogás con biodigestor tipo hindú.	59
Figura 7.25: Construcción de biodigestor tipo chino en Vietnam.	60
Figura 7.26: Digestor de balón: la parte superior se infla a medida que el biogás se recoge.....	61
Figura 7.27: Diagrama esquemático de un digestor tubular de plástico de bajo costo.....	62
Figura 8.1: Mapa de Ubicación Geográfica del municipio de Yucuaiquín.	72
Figura 8.2: Mapa de ubicación de ríos y quebradas del municipio de Yucuaiquín.	82
Figura 8.3: Mapa de vegetación predominante del municipio de Yucuaiquín.....	83

Figura 8.4: Tipo de calles del municipio de Yucuaiquín.....	85
Figura 8.5: Tipo de infraestructuras ubicadas en el área urbana del municipio de Yucuaiquín.....	86
Figura 8.6: Mapa de uso del suelo del municipio de Yucuaiquín.	88
Figura 9.1: Área de influencia de las empresas distribuidoras de electricidad en El Salvador.	94
Figura 9.2: Red de Distribución del Municipio de Yucuaiquín.....	95
Figura 9.3: Vivienda identificado que no cuenta con energía eléctrica.	117
Figura 9.4: Tipo de techo y paredes de la vivienda que no cuenta con acceso a energía eléctrica.....	117
Figura 9.5: Tanques cosechadores de agua lluvia de 6000 litros cada uno.....	118
Figura 9.6: Tipo de panel fotovoltaico utilizado para cargar celulares.	119
Figura 9.7: Cocina de gas GLP y cocina de leña de fogón tradicional que utiliza la familia para la cocción de alimento.	120
Figura 9.8: Extracción de leña en el terreno para la cocción de alimentos.....	120
Figura 9.9: Infraestructura de la vivienda que cuenta con potencial para la generación de biogás.....	122
Figura 9.10: Pastoreo de vacas en el terreno de la familia.	123
Figura 9.11: Área donde se tabulan las vacas de noche, al costado oriente de la vivienda.....	124
Figura 9.12: Cocina de gas GLP que utiliza la familia para la cocción de alimento.	125
Figura 10.1: Esquema de sistema fotovoltaico aislado.	127
Figura 10.2: Estructura tipo poste para la instalación de paneles fotovoltaicos.	129
Figura 10.1: Sitio donde se instalaran los paneles fotovoltaicos.....	132
Figura 10.3: Paneles fotovoltaicos monocristalinos de 72 celdas.....	134
Figura 10.4: Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo.....	135
Figura 10.5: Conexión de 4 baterías en serie.	137
Figura 10.6: Batería de ciclo profundo para aplicaciones fotovoltaicas.....	137
Figura 10.7: Controlador de Carga MPPT.	139
Figura 10.8: Inversor de 1000 Watts de potencia.	140
Figura 11.1: Producción de biogás a partir del estiércol animal.	148
Figura 11.2: Plástico de polietileno de baja densidad (LDPE).....	151
Figura 11.3: Parámetros geométricos para digestor tubular de bajo costo instalado en la zanja.	154
Figura 11.4: Dimensiones de parámetros geométricos para digestor tubular de bajo costo instalado en la zanja.	166

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 7.1: Tipo de evaluación tecnológica por tipo de vivienda.	14
Tabla 7.2: Capacidad instalada y disponible de los generadores fotovoltaicos en el mercado mayorista a junio 2020.	18
Tabla 7.3: Generación en distribución de las plantas fotovoltaicas en el mercado minorista a junio 2020.	19
Tabla 7.4: Generación en distribución de las plantas a biogás, en el mercado minorista a junio 2020.	21
Tabla 7.5: Proyectos con sistemas solares en viviendas rurales de El Salvador.....	26
Tabla 7.6: Principales alimentos preparados en un fogón tradicional y otros usos en El Salvador.	34
Tabla 7.7: Composición de diferentes combustibles gas.	56
Tabla 7.8: Rendimiento de biogás por tipo de biomasa.....	62
Tabla 7.8: Calores específicos de combustión de diferentes materiales.	65
Tabla 8.1: Cantones y caseríos del municipio de Yucuaiquín.....	73
Tabla 8.2: Evolución de la Población del municipio de Yucuaiquín.....	74
Tabla 8.3: Promedio anual de Temperatura a 2 metros de la superficie.	75
Tabla 8.4: Promedio anual de Velocidad del Viento a 2 metros de la superficie.....	77
Tabla 8.5: Promedio anual de Velocidad del Viento a 10 metros de la superficie.....	78
Tabla 8.6: Promedio anual de lluvia registrada en el municipio de Yucuaiquín en mm.	80
Tabla 8.7: Usos del Suelo del municipio de Yucuaiquín.	87
Tabla 9.1: Información sobre el rango de edades de las personas del municipio de Yucuaiquín....	99
Tabla 9.2: Familias encuestadas que tienen animales de granja.	112
Tabla 9.3: Resumen de las viviendas con potencial para visita de campo.	115
Tabla 9.4: Resumen de viviendas seleccionadas.	126
Tabla 10.1: Demanda de energía eléctrica de la vivienda seleccionada.	130
Tabla 10.2: Datos de radiación solar en el municipio de Yucuaiquín.....	131
Tabla 11.1: Producción de estiércol fresco diario.	144
Tabla 11.3: Características físicas del estiércol animal.....	145
Tabla 11.3: Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganado en distintas regiones.....	147

Tabla 11.4: Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganado en distintas regiones.....	152
Tabla 11.5: Propiedades de la Geomembrana HDPE.	152
Tabla 11.6: Diferentes valores de f_c y su correspondiente ángulo n	156
Tabla 11.7: Factores óptimos f_a , f_b y f_p para diferentes (α , f_c).....	160
Tabla 11.8: Porcentaje de volumen de biogás para el óptimo digester tubular para diferentes (α , f_c) 162	
Tabla 11.9: Factores y Características para una zanja típica con $f_c = 1.20$ y $\alpha = 7.5^\circ$	163
Tabla 11.10: Dimensiones óptimas para zanja tubular para digester de HDPE de $C=3.66$ m.....	165

4. INTRODUCCIÓN

En El Salvador, el uso racional y eficiente de la energía evoluciona hacia la eficiencia energética y al uso de las fuentes no convencionales de energías renovables, en este contexto es importante priorizar un enfoque del desarrollo local sostenible, a fin de mejorar la economía, la salud y las condiciones ambientales de las familias del área rural.

La falta de suministro de energía eléctrica en algunas regiones del área rural, la contaminación proveniente de los efluentes de actividades ganaderas, el daño a la salud y al medio ambiente por el uso de la leña para cocción de alimentos en condiciones inadecuadas, evidencian la necesidad de una propuesta para el fomento del uso eficiente de las energías renovables y aprovechamiento de su potencial energético, para cubrir las necesidades energéticas básicas para el desarrollo de un hogar en el área rural que no disponen del servicio de energía eléctrica.

El siguiente estudio plantea de forma general la situación actual de las familias en el área rural, así como posibles soluciones o alternativas para afrontar esta problemática, además, que sean alcanzables y puedan ser implementadas en el corto plazo, fortaleciendo su capacidad de autogestión y contribuir a la mejora de las condiciones ambientales, económicas y de su salud.

Las tecnologías a considerar en este estudio son: Energía solar fotovoltaica de tipo aislado, biodigestor anaeróbico y estufa de leña eficiente para cocción de alimentos a escala domiciliar, además, se evaluarán los beneficios de la proyección del uso de estas tecnologías en viviendas del área rural del municipio de Yucuaiquín, ubicado en el departamento de La Unión, y a nivel nacional, que no cuentan con energía eléctrica.

Cabe observar que si bien las tecnologías de sistemas fotovoltaicos para generación eléctrica, biodigestor anaeróbico y estufa de leña pueden ser aplicados en todo tipo de vivienda rural, con o sin el servicio de energía eléctrica, en este caso el grupo meta hacia el cual se proyectarán y evaluarán sus beneficios serán las viviendas a nivel nacional sin el servicio de energía eléctrica con potencial para aplicar las tres tecnologías.

En el caso del municipio de Yucuaiquín se había contemplado inicialmente considerar una única vivienda modelo sin el servicio de energía eléctrica donde se pudiera evaluar la aplicación de las tres tecnologías (fotovoltaica, biogás y estufas eficientes de leña), y que contara con ganado doméstico, no obstante no fue posible encontrar una vivienda con este perfil en dicho municipio, por lo que se seleccionaron dos viviendas, una con energía eléctrica y ganado donde se evaluarán las tecnologías de producción de biogás y estufa eficiente a base de biogás, y otra vivienda sin electrificación, donde se evaluarán las tecnologías de sistema fotovoltaico para generación eléctrica con estufa eficiente a base de leña.

Los modelos de estufa eficiente de fuego cerrado son una importante alternativa para la cocción de alimentos con leña, dado los beneficios ambientales, sociales y económicos que representan para la familia rural, debido a la reducción del consumo de leña con la consecuente disminución del gasto y de la presión sobre este recurso biomásico, que representa la principal fuente de energía primaria en el país y la región Centroamericana, así como por los beneficios a la salud debido a la reducción de los gases tóxicos y partículas de cenizas provenientes de la combustión de leña en estufas de fuego abierto ubicadas dentro de los hogares rurales, generalmente.

El Salvador carece de un plan maestro en el tema de biomasa que involucre como estrategia la reducción del consumo de leña para alimentos en el área rural, por lo que su evaluación en el grupo meta de viviendas sin energía eléctrica del área rural, en el presente estudio representa una primera aproximación para evaluar sus beneficios sociales, económicos y ambientales. Del mismo modo el uso de biodigestores domésticos aprovechando el estiércol de ganado en viviendas para producción de biogás usado en cocinas y producción de bioabono usado en huertos caseros o cultivos tradicionales, representa beneficios socioeconómicos y ambientales en todo tipo de vivienda con o sin energía eléctrica.

5. OBJETIVO GENERAL

Fomentar el uso de energías renovables no convencionales en sistemas aislados a escala residencial que incluya soluciones tecnológicas que sean factibles de implantar en corto plazo, y que contribuyan a fortalecer la capacidad de autogestión y al desarrollo local sostenible.

6. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Diseñar un sistema fotovoltaico aislado en vivienda modelo para suministro de energía eléctrica para auto consumo.
- 2) Dimensionar y seleccionar un diseño de digestor anaeróbico para producción de biogás y bioabono en vivienda modelo.
- 3) Proponer diseño de estufa de leña eficiente y biogás en vivienda modelo.
- 4) Evaluar la prefactibilidad técnica-económica para las tecnologías propuestas y sus impactos socio ambientales para la familia rural y la región, considerando la aplicación de estas tecnologías en mayor número de viviendas rurales.

7. MARCO TEÓRICO

En El Salvador, las fuentes no convencionales de energías renovables se han ido incrementado en los últimos años, debido al desarrollo de nuevas tecnologías y a la demanda creciente de energía de la población, sin embargo, aún existen zonas donde no se han implementado estas tecnologías debido a la falta de conocimiento, capacidad de gestión para obtención de recursos financieros e interés de los gobiernos locales y por la ausencia de políticas del Gobierno Central a nivel nacional sobre este tipo de tecnologías para uso en viviendas del área rural en el marco de una de una estrategia para el desarrollo local sostenible.

En este estudio se evaluarán 3 tecnologías, para su aplicación en viviendas del área rural con y sin electrificación, las cuales son:

- 1) Sistema solar fotovoltaico aislado, será evaluado en vivienda rural sin electrificación.
- 2) Sistema de biodigestor para producción de biogás y bioabono, será evaluado en vivienda rural que cuenta con ganado doméstico y con servicio de energía eléctrica (Biodigestor a escala domiciliar para uso de biogás en estufa eficiente).
- 3) Estufa de leña eficiente, será evaluado en dos tipos de vivienda: con y sin suministro de energía eléctrica.

Tabla 7.1: Tipo de evaluación tecnológica por tipo de vivienda.

Tecnología a evaluar	Vivienda sin energía eléctrica y sin ganado	Vivienda electrificada y con ganado
Sistema Fotovoltaico Aislado	SI	NO
Biodigestor para producción de biogás y bioabono	NO	SI
Estufa eficiente de leña	SI	NO
Estufa eficiente de leña y biogás	NO	SI

Fuente: Elaboración Propia.

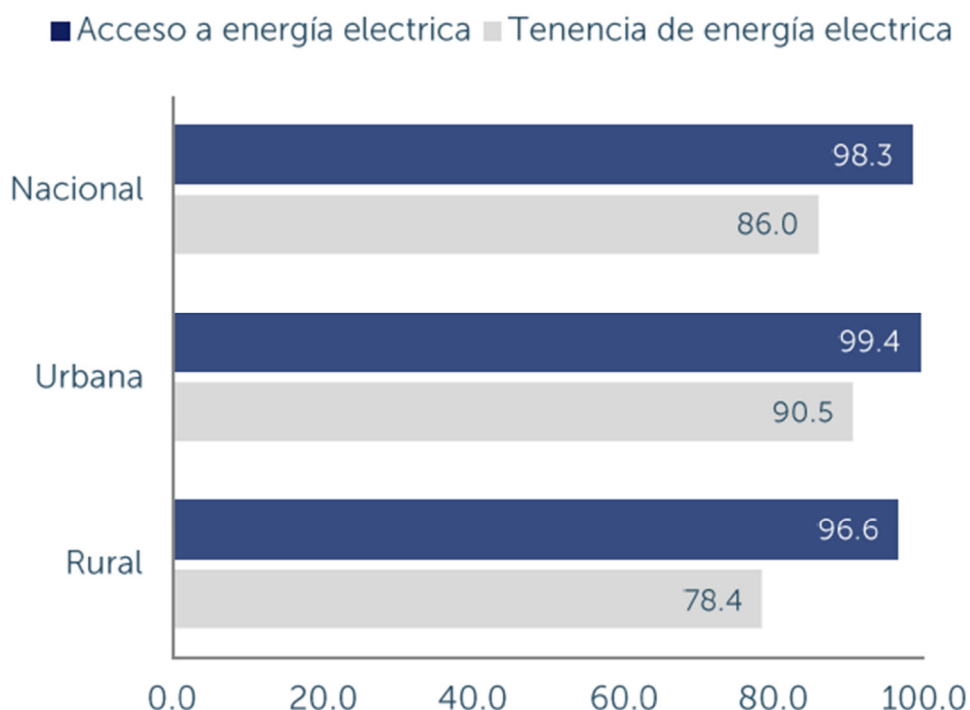
7.1 Contexto Energético de El Salvador

7.1.1 Estado actual de la electrificación rural en El Salvador

En El Salvador todavía hay cerca de 46,525 familias que no tienen acceso al servicio eléctrico, estas familias que no tienen acceso al servicio eléctrico son también, las más pobres, las más aisladas y con menos acceso a servicios básicos, como agua potable, salud, educación y oportunidades económicas.

El acceso a la energía eléctrica por sí misma no reducirá la pobreza, pero la falta de acceso es una condición negativa que limita las posibilidades de desarrollo. Lograr el acceso de toda la población a la energía eléctrica necesaria para satisfacer sus necesidades de bienestar, alimentación y productivas representa una meta alcanzable en el corto plazo pues depende de voluntad política, así como de contar con los recursos financieros y tecnológicos, alcanzar esta meta requerirá de esfuerzo integrado del Gobierno, Academia, Sector Privado, así como del apoyo de la Cooperación Internacional, y de la población salvadoreña en general.

A continuación, se presenta el índice de electrificación de El Salvador para el año 2023.



Gráfica 7.1: Porcentaje de Hogares con acceso y tenencia de energía eléctrica, según área geográfica para el año 2023.

Fuente: Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM), año 2023.

En relación con el servicio de alumbrado eléctrico se puede mencionar que el 98.3% de los hogares salvadoreños cuenta con acceso a servicio de alumbrado eléctrico (incluye electricidad y conexión eléctrica del vecino); le sigue en orden de importancia aquellos hogares que utilizan candela con el 0.6%, otros tipos con el 0.6%, y panel solar con el 0.3% y gas Kerosene con 0.2%.

A nivel nacional los hogares con tenencia del servicio de alumbrado eléctrico (alumbrado eléctrico propio) son el 86.0%.

En el área urbana, el 99.4% cuenta con el acceso a servicio de alumbrado eléctrico, seguido por los hogares que utilizan candela con el 0.3%, y otros medios con el 0.2%. Los hogares con tenencia de alumbrado eléctrico son el 90.5%.

En el área rural los hogares que tienen acceso a servicio de electricidad son el 96.6%, el 1.0% utilizan candela, otros medios 1.4%, seguido de Panel solar 0.6% y destaca el uso de Kerosene (gas) con el 0.4%. Por otra parte, los hogares con tenencia del servicio de electricidad son el 78.4%.

7.1.2 Sub Sector Eléctrico de El Salvador

Descripción del Sector Eléctrico

El sector eléctrico de El Salvador está compuesto por distintos agentes los cuales conjuntamente integran el Mercado Mayorista de Energía. Estos agentes pueden ser de características públicas o privadas y que tienen funciones específicas en un mercado con reglas bien definidas.

Entre los agentes antes mencionados podemos resaltar:

EMPRESAS GENERADORAS, las cuales poseen las centrales de producción de energía eléctrica y la comercializan en forma total o parcial.

AGENTE TRANSMISOR. Es la entidad poseedora de instalaciones destinadas al transporte de energía eléctrica en redes de alto voltaje. Esta es una sola empresa de figura pública-privada, ya que a este nivel de mercado la competencia no es factible.

EMPRESAS DISTRIBUIDORAS. Son las poseedoras y operadoras de las instalaciones de distribución. Su finalidad es transformar la energía de un nivel de voltaje mayor a uno adecuado para los usuarios finales en sus redes de suministro.

COMERCIALIZADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Estos agentes hacen transacciones de compra venta de energía a nivel regional para satisfacer demandas de algunos otros agentes, como los usuarios finales. Los Comercializadores también están sujetos al

Reglamento del Mercado Regional de Electricidad entre los países centroamericanos, así como a la normativa nacional.

Finalmente para que exista una coordinación entre los agentes se requiere la participación de un OPERADOR DEL MERCADO, que ejecuta las acciones necesarias y realiza las conciliaciones económicas que resultan de las transacciones entre agentes.

De la misma manera el ENTE REGULADOR tiene las funciones de aplicar normas y reglamentos que establezcan reglas claras para el buen funcionamiento del mercado. La Unidad de Transacciones (UT), es una sociedad anónima creada en la Ley General de Electricidad (LGE) que tiene por objeto la operación del sistema de transmisión y la operación del mercado mayorista de energía eléctrica.

MERCADO MAYORISTA DE ELECTRICIDAD

La UT es la responsable de la operación del Sistema de Transmisión, asegurar la calidad del suministro y administrar el mercado mayorista de electricidad. Los participantes del mercado: generadores, transmisores, distribuidores, comercializadores independientes y los usuarios finales están representados en la Junta Directiva de la UT, así como la Defensoría del Consumidor y el Consejo Nacional de Energía (CNE).

MERCADO MINORISTA DE ELECTRICIDAD

El mercado “minorista” de energía eléctrica está integrado por las plantas de generación conectadas directamente al sistema de distribución, las distribuidoras y comercializadores que venden a los usuarios finales. En este mercado existen transacciones entre generadores y distribuidores, distribuidores y usuarios finales, comercializadores y usuarios finales, y transacciones entre distribuidores.

Proyectos de generación fotovoltaica en Mercado Mayorista de El Salvador

En El Salvador los proyectos del mercado mayorista con proyectos fotovoltaicos son de 228.9 MW de capacidad nominal, conforme al primer semestre de 2022.

A continuación, se presentan los principales proyectos fotovoltaicos del mercado mayorista.

Tabla 7.2: Capacidad instalada y disponible de los generadores fotovoltaicos en el mercado mayorista a junio 2022.

No.	NOMBRE	Capacidad Instalada		Capacidad Disponible	
		(MW)	(%)	(MW)	(%)
1	PROVIDENCIA SOLAR, S.A. DE C.V.	60.0	2%	60.0	3%
	ANTARES	60.0	2%	60.0	3%
2	PROYECTO LA TRINIDAD, LTDA. DE C.V.	14.0	1%	14.0	1%
	LA TRINIDAD	8.0	0%	8.0	0%
	MÁRQUEZ	6.0	0%	6.0	0%
3	ACAJUTLA ENERGÍA SOLAR LTDA. DE C.V.	20.0	1%	20.0	1%
	LOS REMEDIOS	20.0	1%	20.0	1%
4	CAPELLA SOLAR	115.0	5%	100.0	4%
	ALBIREO I	57.5	2%	50.0	2%
	ALBIREO II	57.5	2%	50.0	2%
5	SONSONATE SOLAR	10.0	0%	8.0	0%
	ECOSOLAR	9.9	0%	9.9	0%
TOTAL FOTOVOLTAICO		228.9	9%	211.9	9%

Fuente: Boletín de estadísticas eléctricas primer semestre, SIGET año 2022.

Proyectos de generación fotovoltaica en Mercado Minorista de El Salvador

En El Salvador los proyectos del mercado minorista con proyectos fotovoltaicos son de 320.24 MW de capacidad nominal, conforme al primer semestre de 2022.

A continuación, se presentan los principales proyectos fotovoltaicos del mercado mayorista.

Siglas:

APR: Auto Productor Renovable.

GDR: Generador Distribuido Renovable.

UPR: Usuario Final Productor Renovable.

APT: Auto Productor Distribuido

Tabla 7.3: Generación en distribución de las plantas fotovoltaicas en el mercado minorista a junio 2022.

GENERACIÓN EN DISTRIBUCIÓN	APR	GDR	UPR	APT	TOTAL
Planta Fotovoltaicas (MW)					
AES NEJAPA GAS, LTDA. DE C.V.	---	2.50	---	---	2.50
AES UNION DE NEGOCIOS	---	3.50	---	---	3.50
AHUACHAPAN SOLAR, S.A. DE C.V.	---	1.80	---	---	1.80
AMERICAN INDUSTRIAL PARK, S.A. DE C.V.	---	24.45	---	---	24.45
APOPA ENERGY, S.A. DE C.V.	---	1.10	---	---	1.10
ASOCIO GRUPO ARQUERO DELFOS, S.A. DE C.V.	---	1.20	---	---	1.20
BOSFORO LTDA. DE C.V.	---	100.00	---	---	100.00
BUENA VENTURA, S.A. DE C.V.	---	0.78	---	---	0.78
CERÁMICA DEL PACIFICO, S.A. DE C.V.	---	0.30	---	---	0.30
CERSA S.A. DE C.V.	---	11.50	---	---	11.50
COESAR, S.A. DE C.V.	---	1.08	---	---	1.08
CORPORACIÓN MERCANTIL SALVADOREÑA, S.A.	---	0.54	---	---	0.54
CUSCATLÁN SOLAR, LTDA. DE C.V.	---	10.00	---	---	10.00
DESARROLLOS AGRICOLAS SANTA MARTA	---	1.94	---	---	1.94
DISTRIBUIDORA DE AZUCAR Y DERIVADOS, S.A. DE C.V.	---	0.20	---	---	0.20
ECOENERGY, S.A. DE C.V.	---	4.50	---	---	4.50
ECTROPA, S.A. DE C.V.	---	0.10	---	---	0.10
EDECSA, S.A. DE C.V.	---	2.00	---	---	2.00
ELECTRICA DE CEREN, S.A. DE C.V.	---	10.00	---	---	10.00
ELIAS POCASANGRE	---	3.50	---	---	3.50
ENCINA SOLAR	---	1.50	---	---	1.50
ENERGIA Y PROYECTOS, S.A. DE C.V.	---	1.40	---	---	1.40
ENERPOWER, S.A. DE C.V.	---	0.30	---	---	0.30
EPOCACI, S.A. DE C.V.	---	1.60	---	---	1.60
F. PEÑA DE MORENO, S.A. DE C.V.	---	0.45	---	---	0.45
GENEFI, S.A. DE C.V.	---	0.19	---	---	0.19
GENERACIONES RENOVABLES, S.A. DE C.V.	---	0.40	---	---	0.40
GENRO, S.A. DE C.V.	---	1.50	---	---	1.50
HILCASA ENERGY, S.A. DE C.V.	---	12.28	---	---	12.28
HILCASA POWER, S.A. DE C.V.	---	1.50	---	---	1.50
IELOU ENERGY, S.A. DE C.V.	---	2.04	---	---	2.04
INDUFOAM ENERGY SUPPLY, S.A. DE C.V.	---	3.10	---	---	3.10

GENERACIÓN EN DISTRIBUCIÓN	APR	GDR	UPR	APT	TOTAL
INVERSIONES ENERGETICAS DE OCCIDENTE, S.A. DE C.V.	---	0.75	---	---	0.75
INVERSIONES ICARUS, S.A. DE C.V.	---	3.10	---	---	3.10
INVERSIONES Y DESARROLLOS ENERGETICOS, S.A. DE C.V.	---	3.64	---	---	3.64
LEXCORP SOLAR, S.A. DE C.V.	---	2.38	---	---	2.38
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA	---	0.25	---	---	0.25
NAUAKPOWER, S.A. DE C.V.	---	5.00	---	---	5.00
PARQUE SOLAR CANGREJERA, S.A. DE C.V.	---	1.20	---	---	1.20
POTENZA, S.A. DE C.V.	---	11.00	---	---	11.00
PROMOTORA INMOBILIARIA M.A. S.A. DE C.V.	---	1.40	---	---	1.40
PROVIDENCIA SOLAR, S.A. DE C.V.	---	19.80	---	---	19.80
PROYECTO LA TRINIDAD, LTDA. DE C.V.	---	8.60	---	---	8.60
SOLAR INTERNACIONAL, S.A. DE C.V.	---	1.20	---	---	1.20
SOLARIS ENERGY, S.A. DE C.V.	---	0.80	---	---	0.80
TECNOLOGIAS AVANZADAS DE CENTROAMERICA, S.A. DE C.V.	---	2.50	---	---	2.50
VASES INGENIEROS	---	0.50	---	---	0.50
VIJOSA POWER, LTDA. DE C.V.	---	1.35	---	---	1.35
UPR	---	---	52.53	---	52.53
APR	0.05	---	---	---	0.05
TOTAL FOTOVOLTAICAS	0.05	267.65	52.536	0.00	320.24

Fuente: Boletín de estadísticas eléctricas primer semestre, SIGET año 2022.

Proyectos de generación de electricidad a partir de biogás en el Mercado Minorista de El Salvador

A continuación se presentan las plantas a biogás, conectados a la red de distribución del mercado minorista. Las Plantas de Biogás suman 5.45 MW.

Tabla 7.4: Generación en distribución de las plantas a biogás, en el mercado minorista a junio 2020.

GENERACIÓN EN DISTRIBUCIÓN	APR	GDR-BIL	TOTAL
Planta de Biogás (MW)			
AES NEJAPA GAS	5.00	---	5.00
AGROSANIA	---	0.15	0.15
ONZA, BIODIGESTOR SAN RAMON	---	0.30	0.30
TOTAL CENTRALES DE BIOGAS	5.00	0.45	5.45

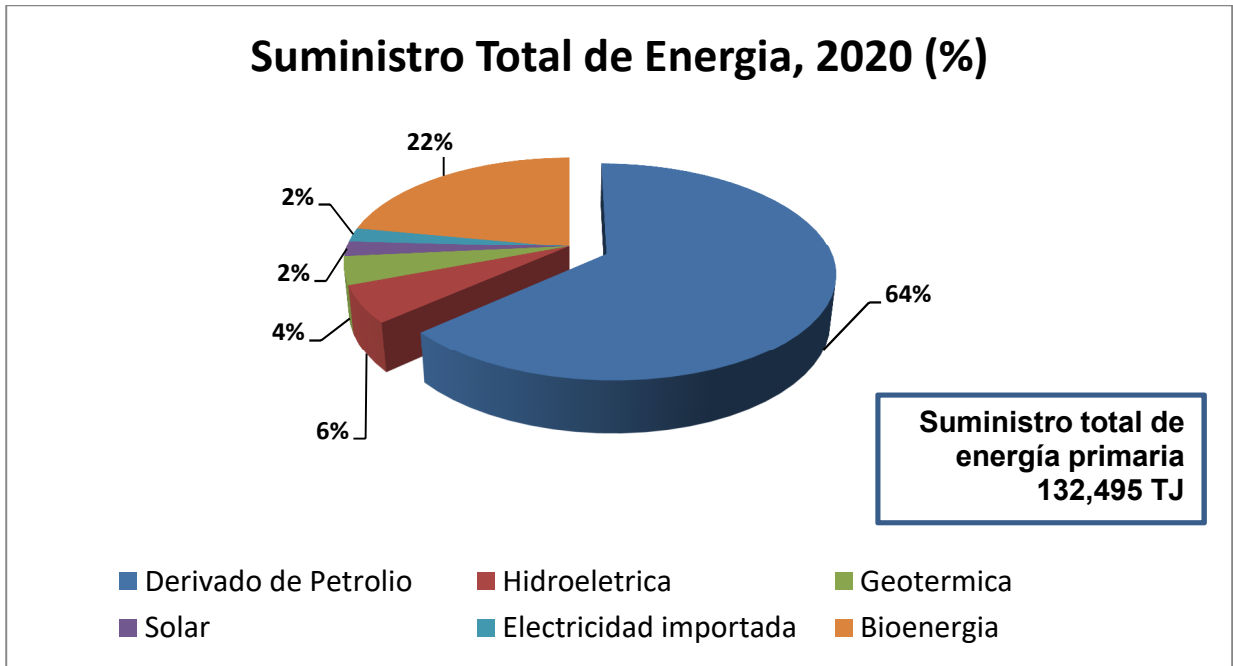
Fuente: Boletín de estadísticas eléctricas primer semestre, SIGET año 2020.

7.1.3 Sub Sector Térmico de El Salvador

La mayor parte de la energía primaria de El Salvador (energía térmica) proviene de combustibles fósiles, como gasolina, diésel, gas licuado de petróleo (GLP), queroseno y aceite combustible No. 6 (Bunker C). El suministro total de combustibles fósiles representó un total de 84,779 terajulios (TJ) en 2020, o el 64 % del suministro total de energía térmica en el país (CNE, 2021).

El diésel tiene un alto nivel de consumo, principalmente en los sectores de transporte e industria. La gasolina se utiliza exclusivamente para el sector del transporte, mientras que el aceite combustible No. 6 (Bunker C) se utiliza para la generación de electricidad. El gas natural aún no tiene un papel relevante en la combinación de energía del país, sin embargo, en 2022 inicio operaciones la central eléctrica de gas natural licuado (GNL), por lo que se espera que este recurso tenga un papel más prominente en el sector energético de El Salvador.

En 2020, el suministro total de energía en El Salvador alcanzó alrededor de 132,495 TJ (ver Gráfica 7.2). Ese año, la fuente de energía renovable con mayor participación como parte del suministro de energía primaria fue la bioenergía (22 %), seguida de la energía hidroeléctrica (6 %), la energía geotérmica (4 %) y la energía solar (2 %) (CNE, 2021).



Gráfica 7.2: Suministro total de energía primaria por sector, año 2020.

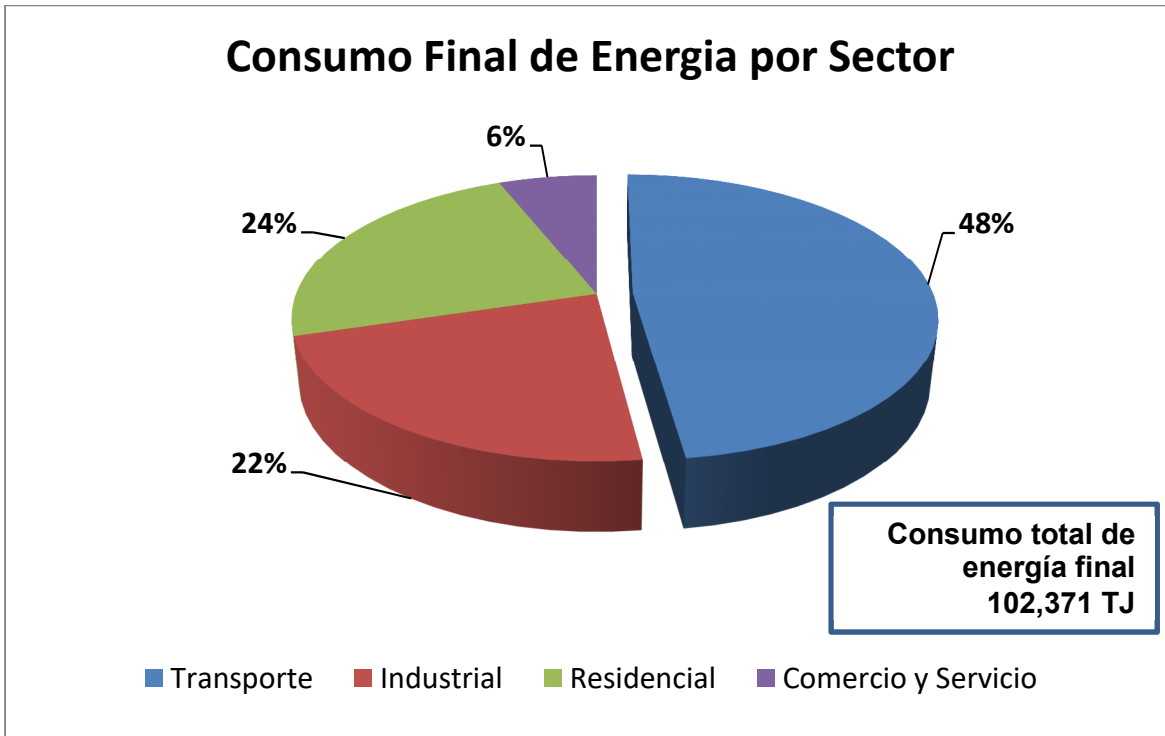
Fuente: Balance energético Consejo Nacional de Energía (CNE).

La Bioenergía incluye la energía proveniente de la leña (5,846 TJ), bagazo de caña (14,892 TJ), y otras biomásas (8,214 TJ).

Cabe mencionar que no hay información disponible sobre el mercado de Oferta y Demanda de leña a nivel nacional, como principal energético que se demanda para la cocción de alimentos.

En el sector energético de El Salvador no ha atendido el tema de la leña utilizada como principal insumo energético en la cocción de alimentos en estufas en área rural con la importancia que tiene en los impactos ambiente y en la salud de la población.

Por el lado, el consumo de energía por sectores se observa en la Gráfica 7.3, en donde el sector del transporte representa la mayor participación, seguido por los sectores residencial e industrial.



Gráfica 7.3: Consumo final de energía por sector, año 2020.

Fuente: Consejo Nacional de Energía (CNE).

El consumo de energía final en el sector del transporte aumentó de 43,126 TJ en 2010 a 48,073 TJ en 2020, y la participación general del sector aumentó del 42 % al 48 % durante el mismo periodo. En el 2020, la participación de los sectores residencial y comercial alcanzando 24% y 6% respectivamente (CNE, 2021).

7.2 Evolución y Estado Actual de las Tecnologías Propuestas en El Salvador

7.2.1 Sistemas Fotovoltaicos a Escala Domiciliar Rural

Entre los intentos por implementar proyectos de generación de electricidad por medio de la energía solar se tiene el del municipio de Nejapa, departamento de San Salvador, el cual tuvo su inicio en 1996 como parte de la ayuda internacional, el cual consistió en proporcionar capacitación para formar personal técnico para las instalaciones de paneles solares, y posteriormente en la donación de los mismos, para uso en zonas donde no se contaba con suministro eléctrico. También se tiene el caso, de un intento de implementar el uso de celdas solares en la zona conocida como La Montañona en el

departamento de Chalatenango, pero no prosperó debido a problemas con el financiamiento, y al difícil acceso de la zona.

Otro fue el ejecutado por SALVANATURA en 1999 en el municipio de Tacuba, departamento de Ahuachapán, beneficiando a 30 familias del caserío El Naranjito, y a la escuela de la localidad.

En 1996, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) Misión en El Salvador, adquirió 420 paneles solares (Uni - Solar UPM- 880) con la idea original de instalarlos en el edificio de dicha organización, para la generación de energía eléctrica de consumo propio. Sin embargo después de un análisis realizado posteriormente sobre la factibilidad del proyecto, se concluyó que el sistema no generaría la energía suficiente y que los paneles serían utilizados para un nuevo proyecto.

En Mayo de 1999, USAID recibió una solicitud de la Confederación Nacional Campesina (CNC) para que les financiara varios proyectos, entre ellos el apoyo para la provisión de paneles solares. La CNC ya había introducido esta tecnología en áreas rurales y había tenido experiencia exitosa con la instalación de paneles solares. La CNC es una ONG local legalizada desde 1995, asociando a 200,000 miembros de 20 organizaciones campesinas, incluyendo 821 cooperativas y más de 940 asociaciones comunitarias.

Bajo la actividad de USAID, reconstrucción por daños derivados del Mitch, uno de los objetivos es estimular la actividad económica y apoyar la expansión de servicios comunitarios básicos. Con el propósito de contribuir a este objetivo y beneficiar al país con esta tecnología, USAID decidió donar a CNC los 420 paneles anteriormente mencionados, para ser instalados en comunidades afectadas por el Mitch. USAID a su vez, compró los accesorios adicionales necesarios para llevar a cabo las instalaciones y financió la capacitación de la comunidad, para que fuera esta la que instalara los paneles y se encargaran de su operación y mantenimiento. La asistencia técnica para este proyecto, está siendo proporcionada por la empresa nacional TECNOSOLAR, Tecnologías Solares.

La instalación de estos paneles solares se está llevando a cabo en diferentes comunidades a lo largo del país, especialmente en escuelas y establecimiento comunitarios, para contribuir a la educación de adultos y para organización comunitaria durante la noche. Además, para permitir que establecimientos de salud puedan proveer servicios de emergencias, como la atención de partos durante la noche.

Proyectos Fotovoltaicos Aislados

➤ **Proyecto Electrificación Rural AES El Salvador**

El 17 de noviembre de 2016, se inauguró el proyecto piloto de energía rural solar de AES El Salvador, a través de su empresa CLESA, con una inversión de más de US\$80,000, se comenzó el innovador proyecto piloto de energía eléctrica a partir de fuentes fotovoltaicas, que benefició a 14 familias del Caserío Los Encuentros, del municipio de San Francisco Menéndez, del departamento de Ahuachapán.

Fueron en total 70 personas quienes cuentan con acceso a energía eléctrica solar, gracias a la instalación en sus hogares de kits fotovoltaicos, que incluyen baterías para el almacenamiento de energía. Además, AES El Salvador les dotó de turbococinas, lo que les permitirá reducir sustancialmente el consumo de leña y consecuentemente incidirá en la economía y en la salud de los hogares beneficiados.



Figura 7.1: Instalación de un sistema fotovoltaico aislado en hogar rural.

Fuente: Proyecto de Electrificación Rural AES El Salvador 2016.

➤ **Diagnóstico de Electrificación Rural de 46 Municipios en El Salvador (CNE)**

En el sitio web del CNE, se encuentra el diagnóstico de la electrificación rural de 46 municipios de El Salvador, donde se incluyen los proyectos de extensión de la red eléctrica a los proyectos con sistemas solares para la generación de electricidad, a continuación se resumen los proyectos con sistemas solares en las áreas rurales de El Salvador.

Tabla 7.5: Proyectos con sistemas solares en viviendas rurales de El Salvador.

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
Guaymango	Cauta Abajo	Los Menjivar	3	3,000
	Platanares	Lorena abajo	14	14,000
	San Martín	Los Guardados 2	10	10,000
El Rosario	El Calvario	Calle Antigua	6	6,000
	San Martín	Los Tejada	2	2,000
		San Martincito	5	5,000
Jujutla	N/D	Finca Santa Luisa	9	9,000
Monte San Juan	San Antonio	El Aceituno	4	4,000
	San José	La Rinconada	2	2,000
San Pedro Puxtla	Texispulco	Los Orellana	5	5,000
	N/D	Finca Santa Fe y Finca San José	10	10,000
Tacuba	Agua Fría	El Zunza y Centro Escolar Caserío El Zunza	14	14,000
		La Montañona	25	25,000
	N/D	Barrio El Centro	6	6,000
Santa Cruz Analquito	Barrio Abajo	Barrio Abajo	2	2,000
Tenancingo	N/D	Calle a Caserío El Pezote	5	5,000
		El Pezote	8	8,000
		Calle a Caserío La Molienda	3	3,000
		El Jabillo y El Zapotillo	5	5,000

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
	Huiziltepeque	Hacienda Nueva	10	10,000
	N/D	El Sitio 2	1	1,000
		Mal Paso	10	10,000
Chiltiupán	Cuervo Arriba	Calle a Cantón Cuervo Arriba	6	6,000
	Las Flores	Las Flores	19	19,000
Chiltiupán	Santa Lucia	Santa Lucia	21	21,000
	Santa Marta	Zunsacapa	8	8,000
	N/D	Barrio Santo Domingo	6	6,000
		Finta Altamira	4	4,000
		Finca Alto Corinto	7	7,000
		Finca El Gringo	2	2,000
		Finca El Zapote	7	7,000
		Finca Termopilas	8	8,000
		San Isidro y San Luis 2	24	24,000
Comasagua	El Faro	La Lima	24	24,000
	La Shila	Cuyanigua	16	16,000
	N/D	El Transito	14	14,000
		Finca Ceilán	19	19,000
		Finca La Estrella	8	8,000
		Finca Santa Gertrudis	2	2,000
		San José Guadalupe	4	4,000
Teotepeque	El Ángel	Las Crucitas	12	12,000
	El Matazano	Calle a Cantón Matazano	2	2,00
		San Rafael 1	14	14,000
	Mizata	Canoas	3	3,000
	San Isidro	La Sabana	40	40,000

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
	San Marcos	San Marcos	7	7,000
	Sihuapilapa	Calle a Cantón Sihuapilapa y Chiquileca	34	34,000
	N/D	Calle a Colonia Las Nubes	13	13,000
		Finca Atancayo	5	5,000
		Finca El Retiro	2	2,000
		La Ceiba y Los Encuentros	17	17,000
		La Conacastera	9	9,000
		Santa Cruz	4	4,000
Jicalapa	La Perla	El Carrizo	42	42,000
	N/D	Calle a San José El Tablón	6	6,000
San Antonio Masahuat	El Socorro	Calle a Cantón Socorro	1	1,000
	San Antonio La Loma	San José La Loma	2	2,000
	N/D	La Esperanza	1	1,000
		Pajaral	3	3,000
San Emigdio	Concepción Lourdes	El Centro	3	3,000
		Los Raymundo	9	9,000
	San José Costa Rica	Los Martínez	9	9,000
San Juan Tepezontes	Los Laureles	Los Laureles	1	1,000
	San José Los Laureles	Calle a Cantón San José Los Laureles	5	5,000
	Soledad Las Flores	Calle a Cantón Soledad Las Flores	7	7,000
	N/D	Calle a La Providencia	12	12,000
San Pedro Nonualco	N/D	Calle a Caserío El Copinol	10	10,000
Santa María Ostuma	El Chaperno	La Perquera	11	11,000
		El Chaperno	14	14,000

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
Tapalhuaca	San Pedro La Palma	Los Amates	7	7,000
Apastepeque	Las Flores	Las Flores del Tepeyac	7	7,000
	San José Los Almendros	El Salitre	5	5,000
	Cutumayo	San José Obrero	7	7,000
San Esteban Catarina	N/D	La Haciendita	11	11,000
		Managua	12	12,000
		La Hacienda	6	6,000
San Idelfonso	Candelaria Lempa	El Bongo	6	6,000
	Lajas y Canoas	El Volcán	12	12,000
		El Carreto	8	8,000
Santa Clara	El Tortuguero	San Juan del Padre	5	5,000
	San Jerónimo	San Jerónimo	9	9,000
		El Junquillo	10	10,000
Caluco	Agua Caliente	Los Castaño	7	7,000
	Los Gramales	Los Peñas	17	17,000
Cuisnahuat	Agua Shuca	Catalana	6	6,000
	Apancoyo	Los García	15	15,000
		Los Hernández	4	4,000
		Los Pintines	5	5,000
	Coquiama	Coquiama arriba	16	16,000
		Los 3 Reyes	5	5,000
		Quebrada Seca	4	4,000
		San Pedro Tazula abajo	10	10,000
Santa Isabel Ishuatán	Apancoyo	Apancoyo Abajo	5	5,000
	Atiluya	El Cruzado	5	5,000
	El Corozal	Caserío Cantón El	4	4,000

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
		Corozal		
	El Paraíso	La Sabana 1	3	3,000
	Paso de Canoas	El Porvenir	6	6,000
	N/D	Calle Sunsapua	3	3,000
		Santa Rita	13	13,000
Santa Catarina de Masahuat	Cuyuapa	C.E. Caserío Los Shull	6	6,000
	El Matazano	Loma Larga 1	21	21,000
		Loma Larga (proy. 2)	7	7,000
		Santa Rosa	9	9,000
	N/D	Calle a caserío La Arenera	3	3,000
		Finca El Ciprés	12	12,000
		Los Limones	5	5,000
Santo Domingo de Guzmán	El Caulote	Callea Cantón El Caulote	6	6,000
		Camino vecinal Cantón El Caulote	3	3,000
		Los Pérez 2	9	9,000
	El Zarzal	Los Valencia	8	8,000
	Valle Nuevo	Calle a Cantón Valle Nuevo	10	10,000
Alegría	N/D	Los Gonzales	1	4,000
Berlín	San Francisco	Los Jiménez	11	11,000
	San Isidro	Casa de Zinc	12	12,000
	N/D	El Achote	13	13,000
		Joya Galana	8	8,000
	San Felipe	Las Cruces	5	5,000
	San Lorenzo	El Rescate	17	17,000
	Talpetate	Las Burras	14	14,000
Estanzuelas	Tecomatal	El Carreto	10	10,000

Municipio	Cantón	Caserío	No. De Viviendas	Costos Aproximados (US\$)
Jucuarán	El Zapote	Salamar	26	26,000
		Concepción	23	23,000
		Sagrada Familia	11	11,000
	El Llano	El Potrero	7	7,000
	Samuria	Los Conventos	8	8,000
		El Quebracho	7	7,000
San Agustín	N/D	El Salitre	9	9,000
Tecapán	N/D	Lotificación Finca La Palmira	11	11,000

N/D: Cantón No Disponible.

Fuente: Consejo Nacional de Energía

Proyectos de Generación de Biogás a Escala Domiciliar

En El Salvador se han desarrollado diversos proyectos de biodigestión anaeróbica como obra de mitigación alternativa a las prácticas tradicionales de tratamiento de los desechos orgánicos de las granjas porcinas y avícolas, a continuación se mencionan algunos proyectos emblemáticos en El Salvador.

➤ Experiencia en Comunidad Los Marranitos Bajo Lempa.

En la comunidad Los Marranitos, en el Bajo Lempa, Jiquilisco, departamento de Usulután, se desarrollan proyectos impulsados por la Organización No Gubernamental (ONG), Fundación para la Cooperación y El Desarrollo Comunal de El Salvador (CORDES), que ayuda a los agricultores de la zona en el manejo de los desechos generados por los animales de granja (estiércol). Uno de estos proyectos es la construcción y operación de biodigestores a escala domiciliar, para la generación biogás para la cocción de alimentos.

En la Figura 7.2 se muestra un biodigestor, el cual colapso debido al inadecuado diseño que se llevó a cabo, el plástico de la biobolsa no soporto la presión del biogás generado.



Figura 7.2: Biodigestor con el plástico cobertor dañado.

Fuente: ASOCIACIÓN FUNDACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO COMUNAL DE EL SALVADOR (CORDES), (El Salvador, Bajo Lempa, 2012).

➤ **Experiencia en Familias de Santo Domingo de Guzmán, San Pedro Puxtla y Guaymango**

Gracias al apoyo de ONGs y al ingenio de las personas en Santo Domingo de Guzmán, San Pedro Puxtla y Guaymango, desde el año 2010 se cocina con biogás, el cual es producido por biodigestores rurales a base de estiércol de cerdos.

La asistencia técnica y los materiales para la construcción del biodigestor se los brindó la Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) en el año 2010 por medio de la colaboración técnica del Ingeniero agrónomo Efraín Cerritos en San Pedro Puxtla, departamento de Ahuachapán, que además asiste los municipios de Guaymango y Santo Domingo de Guzmán, departamento de Sonsonate.

La presencia institucional en la zona data desde el año 2000, trabajan con fondos de cooperación provenientes principalmente de Austria y Francia.

La ONG FUNDESYRAM promueven los biodigestores en todas las comunidades, ya que son opciones que tienen el visto bueno de los países donantes.



Figura 7.3: Incorporación de cocinas a base de biogás en hogares rurales.

Fuente: Eduardo Portillo. (San Pedro Puxtla y Guaymango, 19 de Septiembre de 2010) la Prensa Gráfica.



Figura 7.4: Sistema de biodigestor y cocina a base de biogás.

Fuente: Eduardo Portillo, (Mayo 2011. Municipio de Guaymango). Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM).

7.2.2 Proyectos de Estufas Ahorradoras a Base de Leña.

Las fuentes de energía que se han utilizado para cocinar en El Salvador son principalmente, los gases derivados del petróleo, madera y electricidad. En las zonas urbanas, las personas de clase media utilizan la cocina de gas para la preparación de los alimentos que consumen diariamente y en algunos casos utilizan leña para cocinar alimentos especiales, para los cuales se consumen cantidades mayores de combustible, por ejemplo: la cocción de los frijoles y las tortillas; en las zonas rurales, la madera es el energético que más se consume, además las personas que la utilizan con frecuencia se quejan del humo que genera la combustión con leña y de las incomodidades de encender el fuego, sin embargo esto no impide su utilización.

Tabla 7.6: Principales alimentos preparados en un fogón tradicional y otros usos en El Salvador.

Prácticas de cocina dominantes	Otros usos de fogones abiertos	Características Principales
Tortillas, pupusas, arroz, frijoles, café, huevos, carne, maíz, plátanos fritos, comida, sopas.	Calentar el agua, secar los alimentos ahumados, para hacer pan.	Para hacer tortillas en una sartén plana, plancha o comal. Para preparar nixtamal (masa de maíz para hacer tortillas), frijoles y otros granos, se requiere fuego directo en fase de cocción a fuego lento prolongada.

Fuente: ¿Qué hemos aprendido del uso de biomasa para cocinas en los hogares de América Central?, Banco Mundial 2013.

En El Salvador, la difusión de estufas de leña para cocinar ha estado a cargo de distintas instituciones sin una coordinación específica, principalmente a cargo del Ministerio del Medio Ambiente (MARN), del Ministerio de Agricultura (MAG) y del CNE (en términos de cuantificar el consumo).

El Salvador es el país más innovador respecto a los programas de difusión y modelos de Estufas Eficientes de Biomasa (EMB). Hay dos innovadores importantes: el Sr. Gustavo Peña de “Stove Team”, que ha desarrollado 5 modelos diferentes de EMB, y el Sr. René Nuñez de “Tecnologías Ecológicas Centroamericanas”, quien desarrolló la estufa Turbococina. El Sr. Oscar Figueroa, otro salvadoreño innovador, que desarrollo dos modelos de EMB de acero inoxidable, el modelo “Mimosa” que usa carbón, y el modelo “Consentida” que usa troncos de leña muy pequeños.

Evolución de los Fogones y Estufas Mejoradas en El Salvador

Fogones Tradicionales

Para la preparación de alimentos, las familias salvadoreñas urbanas y rurales emplean diferentes sistemas como leña, gas y/o energía eléctrica. Sin embargo, el combustible más utilizado en las zonas rurales es la leña, que se quema en diferentes tipos de estufas, que incluyen desde el fogón abierto prendido en el suelo hasta las más sofisticadas estufas mejoradas. El fogón abierto es el arreglo más popular, sin embargo puede construirse de diversas formas.

➤ Fogón Tipo 1

El Fogón Tradicional Tipo 1, también conocido como hornilla tradicional, tres piedras o trípode, es la estufa más utilizada en los hogares rurales de El Salvador. Este tipo de fogón está elaborado con barro, tierra, ladrillos, piedras, ceniza y hierro (trípode) y generalmente posee un comal para cocinar tortillas, el combustible que utiliza principalmente es leña.



Figura 7.5: Fogón abierto Tipo 1.

Fuente: Tesis de Grado "Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

➤ Fogón Tipo 2

El Fogón Tradicional Tipo 2 es una variación del Fogón Tipo 1. Este arreglo se elabora con hierro, adobe y ladrillos, y a diferencia del modelo anterior, la hornilla es fabricada con ladrillos.

La base donde se construyen las hornillas también es bastante versátil, ya que puede elaborarse con madera, barro, barriles o metal; sin embargo existen algunos casos en los que las hornillas están ubicadas en el suelo.



Figura 7.6: Fogón abierto Tipo 2.

Fuente: Tesis de Grado “Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

Estufas Mejoradas

El desarrollo de las estufas mejoradas se da en dos fases históricas. En la primera fase el auge de la estufa se debió a su característica principal de remoción del humo y los beneficios en salud que le acompañaban. La segunda fase se vincula con la crisis del petróleo en los años setenta, ya que durante esta época se publicaron numerosos estudios en los que se valorizaba el aporte de estas estufas a la conservación de los bosques a nivel mundial.

➤ Estufas Tipo Lorena

En El Salvador, la introducción de estas cocinas comenzó a principios de los años ochenta cuando la organización internacional “Save the Children Fund” comenzó a ejecutar un proyecto para promover las cocinas Lorena en las comunidades rurales de la zona oriental del país.

La Estufa Lorena se construye con lodo y arena, en una base de paja, arcilla y adobe. Esta estufa generalmente tiene unas dimensiones de 120 cm de largo, 30 cm de alto,

80 cm de ancho; y posee una hornilla 30 cm para colocar el comal (para la elaboración de tortillas) o la olla para cocer maíz, una hornilla de 25 cm y otra de 15 cm.



Figura 7.7: Estufa tipo Lorena.

Fuente: Tesis de Grado “Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

El modelo de la estufa Lorena fue desarrollado por una estación experimental Choqui de Guatemala, sin embargo, una de las conclusiones que lanzó la evaluación de este proyecto fue que este modelo no mantenía en un rango constante la eficiencia térmica.

Para 1981, en Centroamérica inició el Programa Regional Centroamericano de la USAID (ROCAP) ejecutado por el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI), el cual tenía como objetivo evaluar a nivel de laboratorio y de campo, cinco modelos de estufas mejoradas. Este proyecto regional dio paso a muchos proyectos comunitarios para la introducción de estufas tipo Lorena, modelo que tuvo mayor nivel de aceptación en las comunidades.

➤ **Estufas Tipo Chefina**

En el año 1993, el Fondo de Inversión Social (FIS) inició sus labores para beneficiar a la población salvadoreña más vulnerable, entre sus líneas de acción se incluyeron la construcción de estufas tipo Lorena. Posteriormente en 1994, el FIS se dio a la tarea de promover la construcción de la estufa modelo Chefina.



Figura 7.8: Estufa tipo Chefina.

Fuente: Tesis de Grado "Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

➤ **Estufas Tipo Finlandia**

Paralelamente al programa del FIS, la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) introdujo el modelo de estufa Finlandia, nombre elegido debido a que los fondos que financiaron el proyecto provenían de Finlandia. Las Estufas tipo Finlandia están construidas con 22 ladrillos de barro cocido, 0.3 m³ de tierra arcillosa, estiércol de caballo o zacate picado y hierro. Esta estufa tiene 130 cm de largo, 60 cm de ancho externo, 22 cm de alto externo; posee un comal de 30 cm y dos hornillas, una de 25 cm y otra de 15 cm.

Las familias utilizan leña, tusas, olotes y chamisas como combustible de la cocina. De acuerdo a pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de El Salvador, esta estufa tiene un rendimiento del 30%; de acuerdo a otro estudio realizado por el Ministerio de Energía y Minas de la República de Guatemala, sobre el terreno existe un 30% de ahorro de combustible.



Figura 7.9: Estufa tipo Finlandia.

Fuente: Tesis de Grado “Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

➤ **Estufa Tipo Armenia**

A partir del 2003, el Programa de Pequeñas Donaciones (SGP por sus siglas en inglés) del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés) consideró dentro del área focal de cambio climático el programa operativo número seis promoción de la energía renovable para apoyar a las comunidades con financiamiento para el establecimiento de bosques energéticos que contribuyan a la disminución de la deforestación para el consumo de leña, así mismo incluyó la construcción de estufas mejoradas tipo Armenia.

Estas estufas se construyen con ladrillos de barro, tierra blanca, barro, varillas de hierro, azulejos (cerámica), pegamento de cerámica, tubos de cemento y gorro de lámina.

Para iniciar el proceso de construcción, se debe seleccionar el lugar apropiado tomando en cuenta la corriente de aire, posteriormente se levantan tres columnas con block de cemento, que servirá como base para montar la plancha de cemento que servirá de base para construir la cocina, la cual tiene una hornilla principal y dos secundarias. Para pegar los ladrillos se hace una mezcla de tierra blanca, barro y cemento. Para la salida del humo se instalan tubos de cemento en el cual se coloca un regulador de aire y en la punta del último un capicete. El piso cerámico se pega alrededor de la cocina, con ello se logra un ambiente fresco por fuera, fácil de limpiar dándole mayor presentación e higiene a la cocina.

La construcción se efectúa generalmente en un día; pero se le debe aplicar dos quemadas (de estas dependen la leña que requerirá posteriormente). Las quemadas sirven para secar la cocina por el interior y a la vez para acostumar a la cocina a utilizar pequeñas cantidades de leña. La leña que se le debe introducir en la cámara de combustión a las estufas debe tener un tamaño entre 30 a 40 cm de longitud.

El principio de funcionamiento de las cocinas armenias es el ahorro de la leña que se consigue al mejorar la combustión con una buena circulación de aire, permitiendo una mejor distribución de la llama y conservando el calor en el interior de las estufas. El modelo de las estufas Armenia se creó tomando como base el modelo de la cocina Lorena.

El consumo de leña resulta sustancialmente menor con la Cocina Armenia siempre y cuando se utiliza en forma debida, esta puede reducir el consumo de leña hasta un 50% que con el fogón tradicional; su uso resulta en un 58 Kg por semana por hogar, esto significa un ahorro aproximado de 3 toneladas por familia.



Figura 7.10: Estufa tipo Armenia.

Fuente: Tesis de Grado “Estructura y Propuesta de un Plan de Financiamiento para Promover el Uso Masivo de la Turbococina en El Salvador, UES-2007.

➤ **La E-cocina.**

Fue otro proyecto impulsado por el gobierno salvadoreño junto a la ONG estadounidense Stove International Team, el Club Rotario Oregón, E.E.U.U., y el Club Rotario de El Salvador, el 31 de marzo del año 2008. Este proyecto se ejecutó en las comunidades de Suchitoto, Cuisnahuat, Sensuntepeque y la comunidad La Vega en

Sonsonate. El monto de la inversión inicial del proyecto fue cerca de \$54,000, logrando construir 1,300 E-cocinas en un taller de Nahulingo, Sonsonate.

Este diseño contiene una cámara de combustión en forma de “L” elaborada con ladrillo rustico de piso, luego es forrado con lamina de metal y se rellena con piedra pómez y una capa de concreto de una pulgada de espesor.

El diseño es cilíndrico y las dimensiones de la estructura terminada poseen cincuenta centímetros de diámetro y una altura de igual magnitud y el tipo principal de combustible que utiliza es leña en pequeñas cantidades.

Disminuye el 90% del humo. 70% del CO₂ y utiliza hasta un 60% menos leña que las estufas tradicionales, ofrece un seguro aislamiento térmico. Su Costo es aproximadamente de \$40.00.



Figura 7.11: Diseño de la Eco – Cocina.

Fuente: Boletín No. 11 Eficiencia Energética ANDA, 2016.

➤ **La Turbo-cocina.**

La Turbo-cocina es una creación del Sr. René Núñez Suárez y tiene como objetivo minimizar el uso de leña. El invento no produce gases tóxicos y funciona con leña y electricidad. Este diseño se ha venido mejorando desde el año 1995, logrando una

economía en el consumo de leña para cocinar, las pruebas hechas por el inventor dicen que normalmente las familias queman entre 100 y 250 libras de leña por semana en métodos tradicionales y comunes; mientras que con la turbo-cocina se utilizan 10 libras de leña semanales, alcanzando una disminución casi del 95% de leña para el proceso.

La Turbo-cocina consta de una estructura cilíndrica con un disco de diez inyectores de aire y un ventilador interno que funciona con energía eléctrica y una placa de acero que regula la entrada o salida de aire. Su sistema de combustión presurizado administra el calor que se produce en un solo punto. Funciona con pequeños trocitos de madera y leña. Lo más destacado es que utiliza hasta 30 veces menos leña que los métodos tradicionales y elimina las emisiones nocivas a la salud y al medio ambiente.



Figura 7.12: Diseño de la Turbo - Cocina.

Fuente: Boletín No. 11 Eficiencia Energética ANDA, 2016.

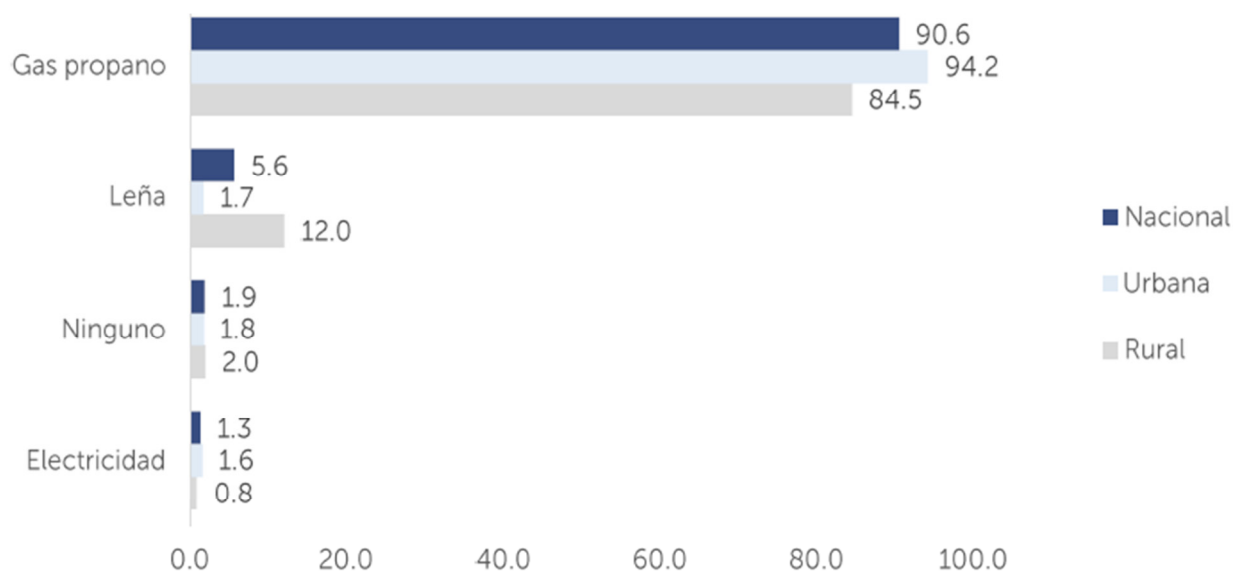
Fuentes de combustible para cocinar

El principal combustible que los hogares utilizan para cocinar es el Gas Licuado del Petróleo (GLP) o gas propano, ya que el 88.6% de los hogares utilizan dicho combustible a nivel nacional, seguido del uso de leña 7.2%.

En el área urbana una extensa mayoría de los hogares (93.8%) usa GLP como principal combustible para cocinar, mientras que solo un 1.8% usa leña. En el área rural

el panorama es distinto ya que el 79.9% usa GLP, mientras que los hogares que usan leña representan el 16.1%. Se observa que la leña es principalmente usada en el área rural. Se sabe que el uso de leña tiene serias implicaciones sobre la condición de salud de los miembros del hogar, principalmente porque están expuestos al humo, por lo que se considera que el uso de leña para cocinar es inadecuado debido a la generación de humo nocivo para la salud, generando problemas respiratorios.

Sobre este tema la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que generalmente en los hogares pobres de los países en desarrollo, la leña, el carbón vegetal y otros combustibles sólidos (principalmente residuos agrícolas y carbón) se queman a menudo en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento. La combustión incompleta libera pequeñas partículas de otros componentes cuyo peligro para la salud humana en el ambiente del hogar es grande.



Gráfica 7.4: Hogares por tipo de combustible para cocinar, según área geográfica (Porcentaje).

Fuente: Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples. Año 2023.

7.3 Descripción de Las Tecnologías Propuestas

Las Energías Renovables No Convencionales o ERNC, son todas aquellas fuentes de generación energética en las cuales no se incurre en el consumo, gasto o agotamiento de su fuente generadora. Entre estas fuentes de energías podemos mencionar a la energía hidráulica proveniente de la fuerza motriz del agua. La energía solar, capturada del sol mediante la radiación solar. La energía eólica, nutrida por la fuerza mecánica del

viento, y la fuente mareomotriz, que se alimenta de la fuerza generadora del oleaje de los océanos.

También es posible hacer mención de otras energías, categorizadas por su forma de explotación, como es el caso la energía proveniente de los desechos domésticos, agrícolas y agroindustriales denominada Biomasa, y en último término nos encontramos con la energía geotérmica que aprovecha el calor interno de la tierra.

A continuación, se describen las tecnologías de energías renovables no convencionales propuestas en este estudio.

7.3.1 Sistemas Solares Fotovoltaicos

Componentes Básicos de un Sistema Solar Fotovoltaico

➤ **Placas o módulos solares**

Las placas solares convierten la radiación solar en corriente continua. Obviamente cuanto más alta sea la radiación, más energía producirán las placas solares a una misma potencia. Sin embargo, hay que tener en cuenta que dos paneles iguales tendrán un rendimiento diferente dependiendo de la radiación, que cambia según la zona geográfica, o también por la inclinación y la orientación, entre otras causas.

Podemos categorizar la tipología de las placas solares de diferentes formas; la más común es diferenciar los paneles según sean policristalinos o monocristalinos.

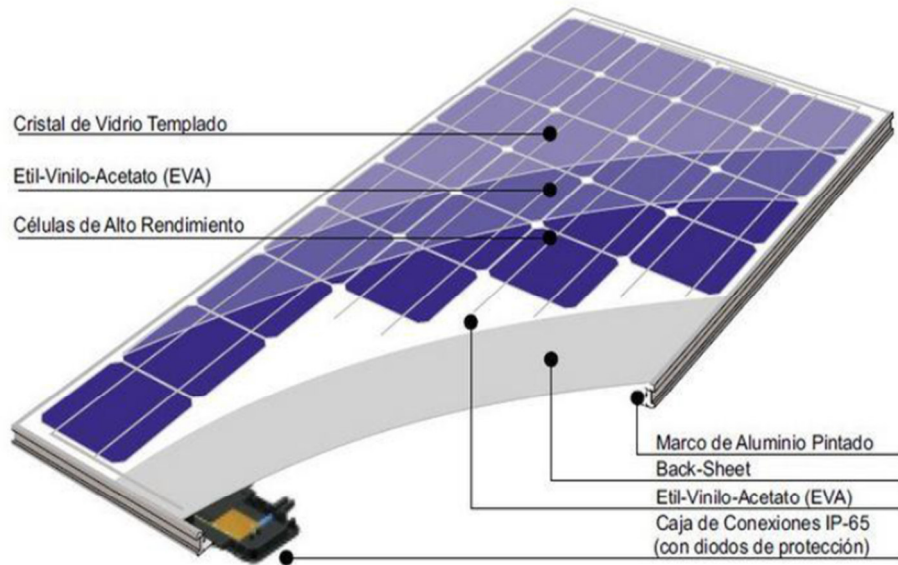


Figura 7.13: Partes de un módulo fotovoltaico.

Fuente: Tesis, Propuesta Para Normar Proyectos De Autoconsumo De Generación Fotovoltaica Para Generación Distribuida, Universidad Don Bosco, 2017.



Figura 7.14: Tecnologías de paneles fotovoltaicos

Fuente: Norma Técnica De Diseño, Seguridad Y Operación De Instalaciones De Generación De Energía Con Tecnología Solar Fotovoltaica De Hasta 100 kW, UES, 2018.

➤ Regulador de carga

Actúa cortando y regulando el paso de la energía entre los paneles y la batería, en función del estado de carga de la misma. Para que funcione correctamente hay que dimensionar bien su potencia y elegir el tipo adecuado para obtener el mejor rendimiento de las placas solares.

Los reguladores de carga pueden ser de 2 tipos:

Reguladores PWM (Pulse-Width Modulation, modulación por anchura de pulsos): Un controlador de carga PWM sólo dispone en su interior de un diodo, haciendo de este modo que los paneles funcionen a la misma tensión que las baterías. Es más económico y se recomienda para pequeños sistemas solares de bajo costo. Solo puede utilizarse si la tensión nominal de las placas solares y las baterías es la misma, por ejemplo, con placas solares 12V y baterías 12V.

Regulador MPPT (Máximo, Power Point Tracking): Los reguladores de carga MPPT hacen trabajar al panel en su punto de máxima potencia. Son mucho más eficientes ya que se encargan de ajustar la tensión entrante de paneles a la que precisa la batería según su etapa de carga, por ello pueden sacar alrededor de un 30% más de energía que un PWM. El único requisito es una tensión nominal en paneles superior a la tensión de trabajo en baterías y son la única opción posible cuando se utilizan paneles con un voltaje no estándar.

Es recomendable utilizarlos cuando se tienen placas solares de 72 celdas.



Figura 7.15: Reguladores de carga PWM y MPPT.

Fuente: www.comerciosolar.es, 2020.

➤ Inversores solares

Los inversores solares precisan estar conectados a baterías y son los encargados de convertir la corriente continua que se puede extraer de ellas a corriente alterna apta para el consumo normal de una vivienda. Los inversores aislada, por lo general, pueden ser de: 12V, 24V o 48V y es muy importante que generen una onda senoidal pura para no tener daños en los dispositivos eléctricos que se les conecte.

Podremos elegir varias opciones de potencia en función de los consumos simultáneos que necesitemos conectar. Aunque hay excepciones, lo lógico y habitual son potencias de hasta 1500W en 12V, unos 3000W a 24V y a partir de 4000 o 5000W a 48V.

Es muy habitual que se integre el regulador de carga dentro del propio inversor y también la funcionalidad de un cargador baterías a partir de una fuente externa. Esto es muy útil ya que en instalaciones aisladas es habitual disponer de un generador de gasolina o generadores a diésel que nos pueda cubrir consumos de emergencia en condiciones de baja producción.



Figura 7.16: Inversor solar.

Fuente: www.comerciosolar.es, 2020.

➤ Baterías solares

Las baterías solares se encargan de almacenar la energía que se capta y no se utiliza durante las horas de sol. Así dispondremos de esa energía por la noche o en momentos de menor producción. Suponen prácticamente la mitad del presupuesto en un sistema solar aislado y por ello es muy importante que se dimensionen adecuadamente.

Hay baterías pequeñas y económicas para usos más discretos y grandes acumuladores para mayores necesidades.

Del mismo modo también distintos tipos de tecnologías como baterías de plomo ácido, baterías AGM, baterías de GEL, baterías estacionarias o batería de litio.

Las baterías se agrupan para obtener la tensión de trabajo requerida por el inversor y su capacidad también debe estar en consonancia con la potencia del mismo y el uso que le vayamos a dar al sistema. También hay que asegurarse que el regulador de carga está preparado para trabajar al voltaje del banco de baterías para que todo funcione correctamente.



Figura 7.17: Batería solar.

Fuente: www.comerciosolar.es, 2020.

➤ Cableado

Todos los elementos nombrados anteriormente necesitan estar conectados entre sí. Para ello es necesario respetar las secciones ya que circula corriente a muy distintas intensidades entre los elementos citados. Tampoco se debe sobrepasar la distancia recomendada ya que, trabajando a voltajes bajos, las caídas de tensión pueden provocar un mal funcionamiento de todo el sistema.

➤ Estructuras

Inicialmente puede parecer un complemento sin importancia; sin embargo, es el encargado de sujetar con firmeza los paneles solares a la superficie en la que los vayamos a situar. No hay que obviar tampoco la importancia de una correcta inclinación y orientación para que el rendimiento de un sistema solar sea el mejor posible.



Figura 7.18: Módulos fotovoltaicos montados en estructura metálica.

Fuente: Sitio web <http://patriotsolargroup.com>.

Tipos de Sistemas Fotovoltaicos.

Las aplicaciones fotovoltaicas pueden dividirse en:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislados.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Sistemas fotovoltaicos aislados

Los sistemas aislados alimentados por energía fotovoltaica con potencias fotovoltaicas máximas pueden ir de milivatios a varios kilovatios. No tienen conexión con una red eléctrica. Para asegurar el suministro del sistema autónomo con energía eléctrica también en los tiempos sin radiación (por ejemplo, de noche) o con mucha baja radiación (por ejemplo, a veces con una fuerte nubosidad), sistemas independientes en

su mayoría tienen un sistema de almacenamiento integrado. Si los sistemas se utilizan solo durante el momento en que la radiación es suficiente para alimentar el sistema con electricidad energía directamente, no es necesario un sistema de almacenamiento.

En la actualidad, existe una gran variedad de sistemas autónomos. Ejemplos de van desde calculadoras solares y relojes hasta sistemas de control de tráfico para sistemas que son capaces de abastecer uno o varios edificios en áreas remotas con energía eléctrica. Pueden ser sistemas de C.C. con o sin batería de almacenamiento, o pueden ser sistemas de C.A. con inversor. Los sistemas autónomos se pueden implementar con un generador fotovoltaico como único fuente de energía o con fuentes de energía auxiliares, como los llamados sistemas híbridos.

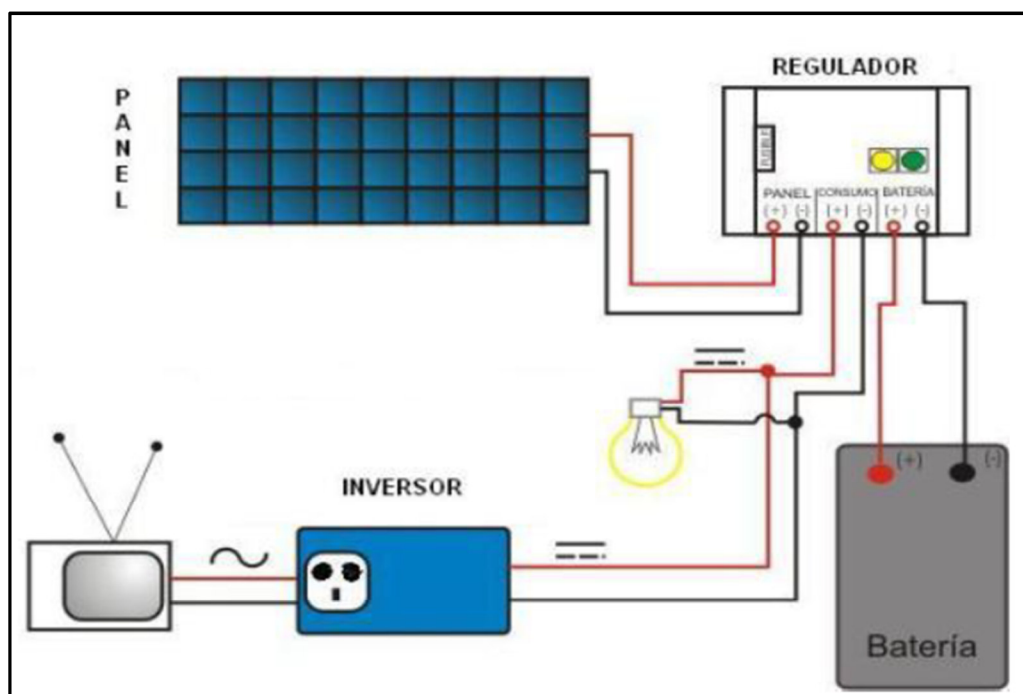


Figura 7.19: Diagrama característico de un sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red siempre tienen una conexión a la red eléctrica pública a través de un inversor adecuado, porque un módulo fotovoltaico solo entrega corriente continua.

Normalmente casi no hay efectos de los sistemas fotovoltaicos en la red que afecten calidad de la energía, líneas de carga y transformadores, etc. Sin embargo, para una mayor participación de la energía fotovoltaica en las redes de baja tensión, como en los

asentamientos solares, estos aspectos necesitan a tener en cuenta. Desde un punto de vista técnico, no habrá dificultad para integrar tanta energía fotovoltaica en redes de baja tensión como la carga máxima del segmento respectivo.

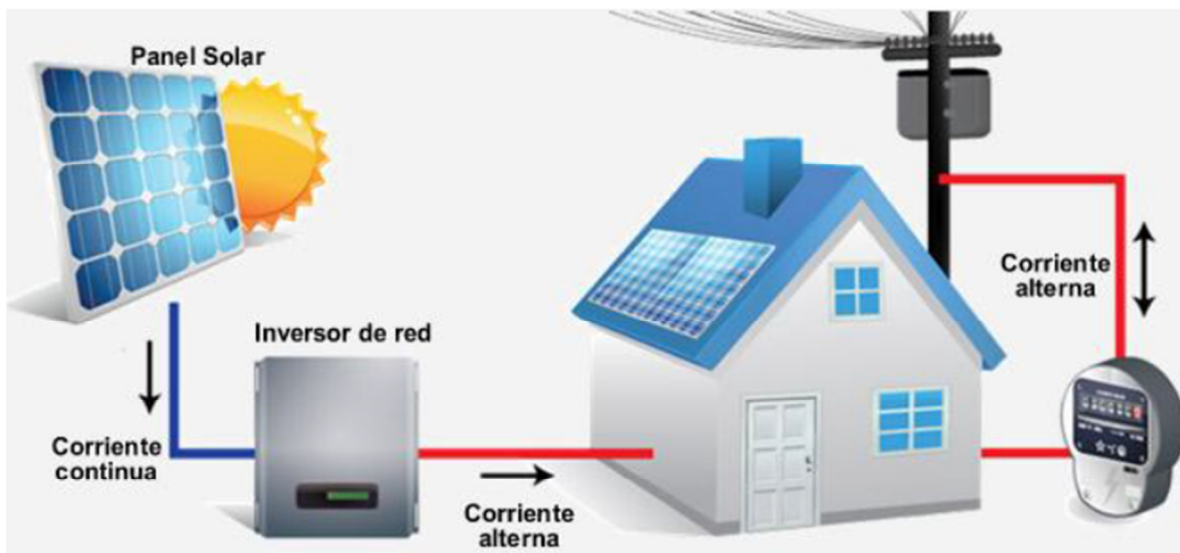


Figura 7.20: Componentes de un sistema conectado a la red.

Fuente: Componentes de un Sistema conectado a la Red (en línea). Nexus Sun, 2016. www.nexussun.com.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se pueden subdividir en dos tipos:

- Sistemas fotovoltaicos descentralizados conectados a la red.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red central.

Sistemas fotovoltaicos descentralizados conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos descentralizados conectados a la red tienen principalmente un rango de potencia pequeño y se instalan en el techo de los edificios (instalación en azoteas o techos planos) o integrado en las fachadas de los edificios.

El almacenamiento de energía no es necesario en este caso. En los días soleados, el generador solar proporciona energía, por ejemplo, para los aparatos eléctricos de la casa. Durante la noche y los días nublados, la casa extrae su energía de la red.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red se instalan en el techo de un edificio o integrado en la fachada de un edificio. El beneficio de la instalación de una fotovoltaica sistema dentro o sobre un edificio es que no hay un área separada para el generador solar es necesario.

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red central

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red central tienen una potencia instalada hasta el MW distancia. Con tales centrales fotovoltaicas centrales es posible alimentar directamente a la red de media o alta tensión.

Las centrales eléctricas se instalan en terrenos que de otro modo no se utilizarían, pero en algunos casos una instalación en edificios, principalmente en el techo plano de edificios más grandes, también es posible.

7.3.2 Proceso de Generación de Biogás y Tipos de Biodigestores

Materias Primas

Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía. Estos productos componen lo que se denomina comúnmente “Biomasa”, una definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de podas de jardines, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, combustibles líquidos derivados de productos agrícolas (los denominados biocarburantes), residuos de origen animal o humano, etc., todos pueden considerarse dentro de la citada definición.

La energía de la biomasa proviene en última instancia del Sol, las plantas y los animales absorben y almacenan una parte de la energía solar que llega a la tierra en forma de alimento y energía. Cuando esto ocurre, también se crean subproductos que no sirven para los seres vivos ni pueden ser utilizados para fabricar alimentos, pero sí para hacer energía de ellos.

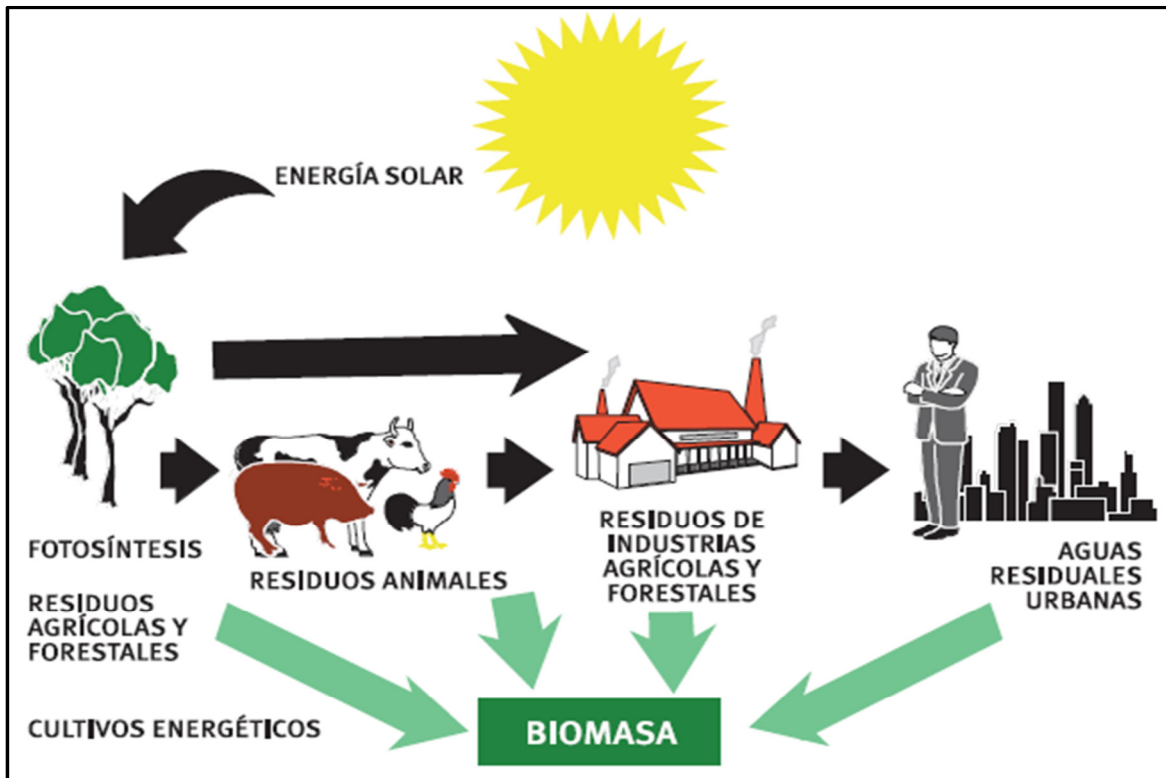


Figura 7.21: Generación de Biomasa.

Fuente: Energía de la Biomasa, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, 2007.

La biomasa se puede clasificar en tres grandes grupos:

Biomasa natural: Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.

Biomasa residual: Son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos (RSU) por ejemplo).

Biomasa producida: Son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie específica con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

Conversión de la biomasa en energía

Existen diferentes formas para transformar la biomasa en energía aprovechable, pero los 2 más utilizados se describen a continuación.

1) Métodos termoquímicos

Es la manera de utilizar el calor para transformar la biomasa. Los materiales que funcionan mejor son los de menor humedad (madera, paja, cáscaras, etc.).

Los procesos termoquímicos más utilizados son:

Combustión

Existe cuando quemamos la biomasa con mucho aire (20-40% superior al teórico) a una temperatura entre 600 y 1,300 °C. Es el modo más básico para recuperar la energía de la biomasa, de donde salen gases calientes para producir calor y poderla utilizar en casa, en la industria y para producir electricidad.

Pirólisis

Se trata de descomponer la biomasa utilizando el calor (a unos 500 °C) sin oxígeno. A través de este proceso se obtienen gases formados por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos, líquidos hidrocarbonatos y residuos sólidos carbonosos. Este proceso se utiliza artesanalmente para hacer carbón vegetal.

Gasificación

Existe cuando hay una combustión y se producen diferentes elementos químicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H) y metano (CH₄), en cantidades diferentes. La temperatura de la gasificación puede estar entre 700 y 1,500 °C y el oxígeno entre un 10 y un 50%. Según se utilice aire u oxígeno, se crean dos procedimientos de gasificación distintos. Por un lado, el gasógeno o “gas pobre” y por otro el gas de síntesis. Este último transformarse en combustibles líquidos (metanol y gasolinas) y de ahí su importancia. Por eso se están haciendo grandes esfuerzos que tienden a mejorar el proceso de gasificación con oxígeno.

Co-combustión.

Consiste en la utilización de la biomasa como combustible de ayuda mientras se realiza la combustión de carbón en las calderas. Con este proceso se reduce el consumo de carbón y se reducen las emisiones.

2) Biogás

El biogás es un gas compuesto principalmente de metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), 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 o bioabono.

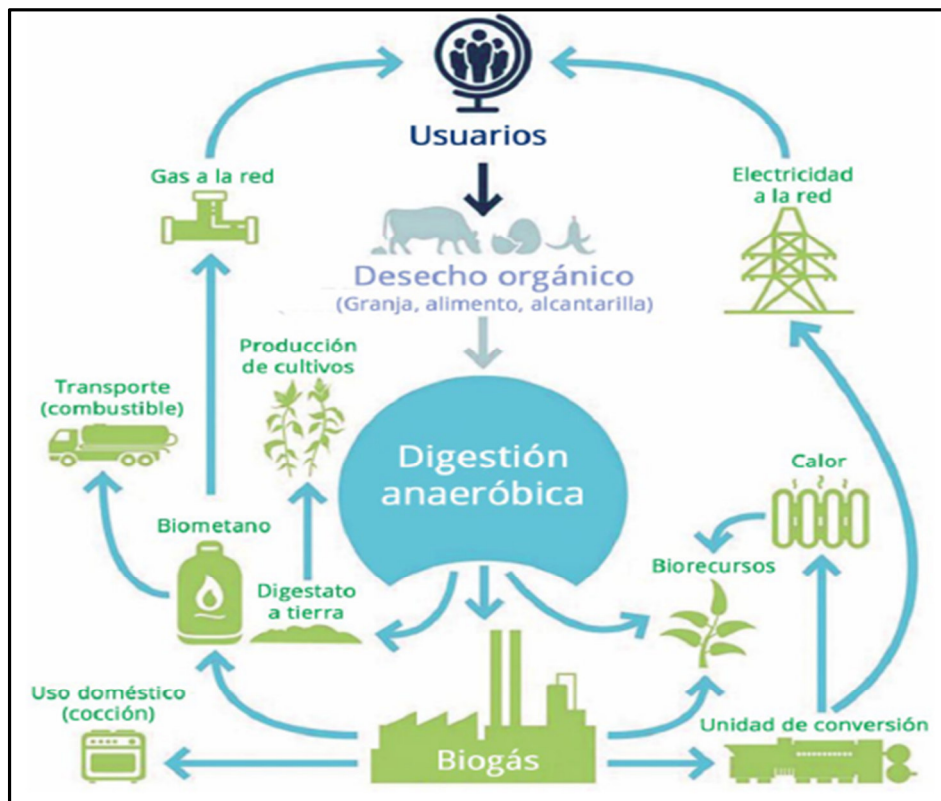


Figura 7.22: Ciclo Biológico del Biogás.

Fuente: Evaluación e implementación de Proyectos Piloto de Biodigestores de El Salvador, CNE-CEPAL, año 2019.

Propiedades del biogás

El biogás es una mezcla de CH_4 y CO_2 , la cantidad de 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 CH_4 de 55 a 70% (FAO, 2011). En comparación con el gas natural que también es un gas que contiene principalmente CH_4 , el contenido mínimo de metano en el gas natural es aproximadamente de 83%.

Tabla 7.7: Composición de diferentes combustibles gas.

Propiedades	Biogás*	Gas natural	Gas propano	Gas Metano
Valor calorífico (kWh/m ³)	7.00	10.00	26.00	10.00
Densidad (t/m ³)	1.08	0.70	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)	6-12	5-15	2-10	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 ³ /m ³)	6.60	9.50	23.90	9.50

* Composición del biogás CH₄ (65%), CO₂ (35%).

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

La Biodigestión

A lo largo de los años los procesos de digestión anaeróbica se han especializado, abarcando actualmente varios campos de aplicación. 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 Objetivos ODS.

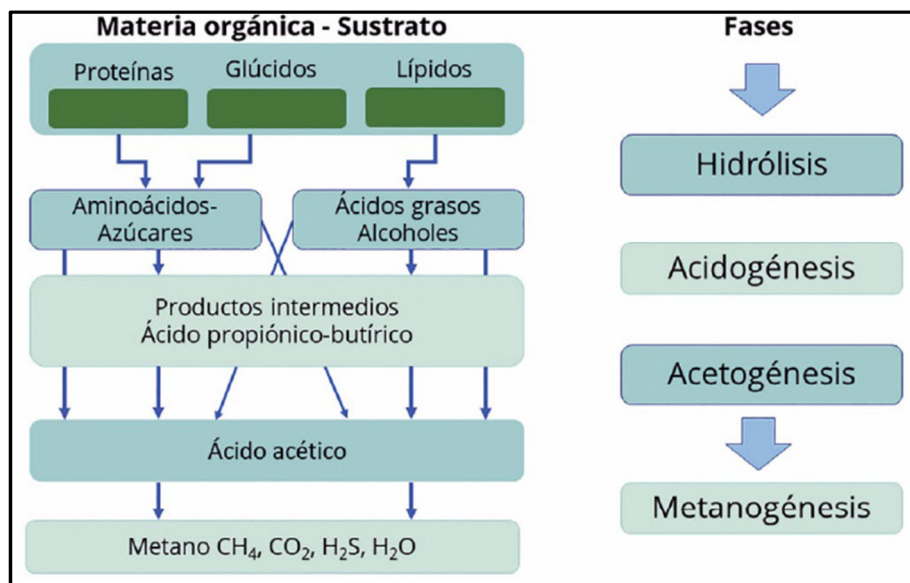


Figura 7.23: Proceso de degradación de la materia orgánica.

Fuente: Evaluación e implementación de Proyectos Piloto de Biodigestores de El Salvador, CNE-CEPAL, año 2019.

La digestión anaeróbica como proceso microbiológico y bioquímico de descomposición anaeróbica de la materia orgánica transcurre en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Para que exista la producción de 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: 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 CH_4 y 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.

Tipos de 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.

Tamaño y tipo de biodigestores

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

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

Para efectos de este estudio, nos enfocaremos en los biodigestores domésticos.

Biodigestores Domésticos

Son biodigestores relativamente pequeños y de “baja velocidad”, por lo general utilizados en zonas rurales y son típicamente diseñados para manejar estiércol animal. También pueden usarse desechos humanos, hojas, pastos y residuos agrícolas. Son especialmente adecuados para su uso en el entorno rural porque requieren pocos conocimientos técnicos en su operación y mantenimiento. No hay un suministro continuo de contenido del digestor sino que se hace por gravedad y normalmente de manera intermitente (una vez al día), por lo que la digestión avanza lentamente con tiempos de retención que van de 20 a 45 días. Los principales tipos de biodigestores domésticos se describen a continuación.

➤ Biodigestor tipo hindú

Denominado biodigestor de cúpula (o domo) flotante porque la cámara de recolección de biogás no está fija sino que se desplaza hacia arriba cuando el gas se acumula o hacia abajo cuando se extrae, guiada por un bastidor para evitar que se incline. Es decir, el depósito de biogás es una campana flotante sellada con la mezcla de agua y materia orgánica que se está degradando. Dicho movimiento ascendente y descendente provee alguna agitación a la mezcla.

Las dos partes principales son el digestor y el gasómetro. El digestor se construye con mampostería de ladrillo y el gasómetro es fabricado con láminas de acero dulce. Este último, debido a que está flotando sobre la mezcla de agua y materia orgánica, puede ser rotado manualmente para proporcionar agitación a la mezcla y remover la espuma formada. En la figura 2.7 se muestra una instalación real con este tipo de digestor. Sin embargo, debido al incremento en el costo del acero y a que éste es propenso a la corrosión, otras alternativas de materiales han sido probadas, como ferro-cemento, polietileno de alta densidad y policloruro de vinilo (PVC).



Figura 7.24: Planta de biogás con biodigestor tipo hindú.

Fuente: Anónimo (extraída de internet)

➤ **Biodigestor tipo chino**

También denominado biodigestor de domo fijo, tiene su origen en China en la década de 1960. Se utilizaba para la producción de biogás, principalmente, pero además para producir un fertilizante orgánico de bajo contenido en microorganismos patógenos. Básicamente consiste en una cámara cilíndrica subterránea de ladrillo con un canal de entrada y una pequeña cámara a la salida. A diferencia del modelo hindú tiene una cámara fija en forma de cúpula para el almacenamiento de biogás hecha de ladrillo y cemento, y construida por debajo del nivel del suelo, con una base de la misma forma o plana.

A medida que se produce más gas, la presión dentro del digestor aumenta en contraste con las plantas de cúpula flotante en la que la presión de gas en el interior se mantiene bastante constante. La producción de gas por m^3 de materia para este tipo de digestores se asume de 0.15 a 0.30 m^3 por día, dependiendo de las condiciones climáticas y el tipo de material utilizado. Dado que es importante tener una presión constante para poder utilizar el gas, se debe regular la presión por ejemplo agregándole un depósito exterior de gas. Todos los digestores chinos se pueden alimentar de manera discontinua y/o semicontinua. Usualmente, los desechos como: hojas, hierba y residuos agrícolas (fuentes de carbono) se agregan en modo batch, mientras que los desechos animales y humanos (fuentes de nitrógeno) son agregados diariamente.



Figura 7.25: Construcción de biodigestor tipo chino en Vietnam.

Fuente: SNV, HIVOS, Soluciones Prácticas (b), 2012

➤ **Biodigestor taiwanés**

Este tipo de digestor (digestor de bolsa, balón o tubular) fue introducido en Taiwán en 1960. Está hecho de plástico inflable y es especialmente popular en China. Estos digestores vienen en volúmenes desde 2.2 a 13.5 m³, siendo los de 6 m³ los utilizados comúnmente.

De acuerdo con Mazumdar (1982) este modelo de digestor de bajo costo fue desarrollado por Chung Po de Taiwán utilizando goma de neopreno. Éste diseño combina la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro en una sola unidad. El sustrato no ocupa todo el volumen del digestor, ya que debe quedar un espacio para el gas. Así, a medida que la bolsa se hincha, el gasómetro se va formando y llenando (Figura 7.26). El funcionamiento de este digestor se basa en la tecnología de digestión anaeróbica de flujo pistón, por la forma en la que se desplaza la carga en su interior.

Dicho modelo, según Mazumdar (1982) consistía básicamente en una bolsa de goma cilíndrica de aproximadamente 3.3 m de largo y 1.5 m de diámetro. Todo el área necesaria para el digestor, junto con las tuberías de entrada y salida, debe ser de al menos 4.5 m de longitud y 1.8 m de ancho. Esta bolsa de biogás debe ser apoyada hasta el nivel de mezcla que contiene en su interior. Esto se puede hacer mediante su

colocación en una zanja cavada en el suelo hasta dicho nivel y las salidas a nivel del suelo.

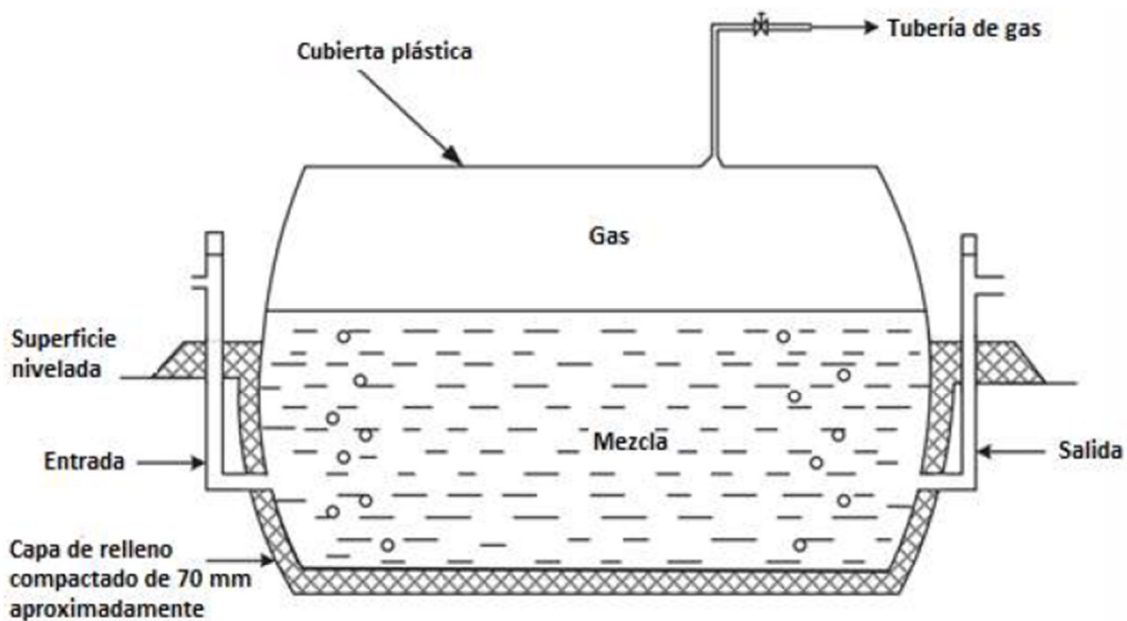


Figura 7.26: Digestor de balón: la parte superior se infla a medida que el biogás se recoge.

Fuente: Mazumdar, 1982

Este modelo de biodigestor se alimenta diariamente (flujo semi-continuo) con la mezcla adecuada de agua y material orgánico. Consiste en un fermentador y cámara de almacenamiento de biogás en forma tubular hecha de polietileno en capa doble o de geomembrana de PVC, el cual es instalado en forma horizontal en una zanja excavada en el suelo que funciona como aislante térmico, con un tubo de admisión del afluente y un tubo de salida del efluente, y un tubo en la parte superior central para la salida del biogás, tal como se muestra en la Figura 7.27. Los residuos entran por un lado y salen por el otro a la misma cantidad del material digerido. Esto implica que cierta parte de la masa bacteriana se pierde, por lo que una parte de los residuos debe utilizarse para la síntesis de nuevas bacterias, disminuyéndose la cantidad de materia orgánica que sirve como alimento de las bacterias existentes. Esto se traduce en una menor producción de biogás. Este digestor también cuenta con una válvula de seguridad que evita su ruptura por la presión que puede generarse debido a una producción excesiva de biogás.

Este biodigestor se puede alimentar con todo tipo de materia orgánica que puede ser descompuesta anaeróbicamente, como heces, orina y otros residuos animales (sangre, tejido, grasa y contenido digestivo) y residuos vegetales y humanos; con un tiempo de retención que puede variar entre 25 a 50 días.

El gas también puede ser almacenado separadamente en un gasómetro. Una ventaja del uso del plástico como material de construcción es que hace que la piel del digestor sea delgada, haciendo fácil su calefacción por la radiación solar. Debido a esto, las temperaturas promedio dentro de este digestor es 2-7 °C superiores en comparación con un digestor de cúpula fija (Tauseef, Premalatha, Abbasi, & Abbasi, 2013). La tasa de producción de biogás es por tanto mayor. Pero el material del digestor debe ser resistente a la radiación UV o ésta podría inactivar las bacterias metanogénicas.

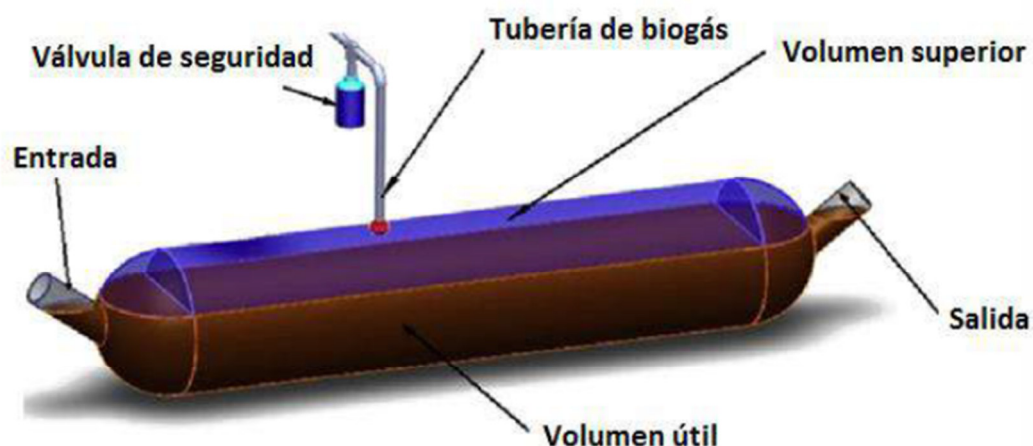


Figura 7.27: Diagrama esquemático de un digestor tubular de plástico de bajo costo.

Fuente: Ferrer, Garfí, Uggetti, Ferrer-Martí, Calderon, & Velo, 2011

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. La Tabla 7.8, muestra las cantidades y composición del gas obtenido según la naturaleza del material digerido en condiciones anaeróbicas.

Tabla 7.8: Rendimiento de biogás por tipo de biomasa.

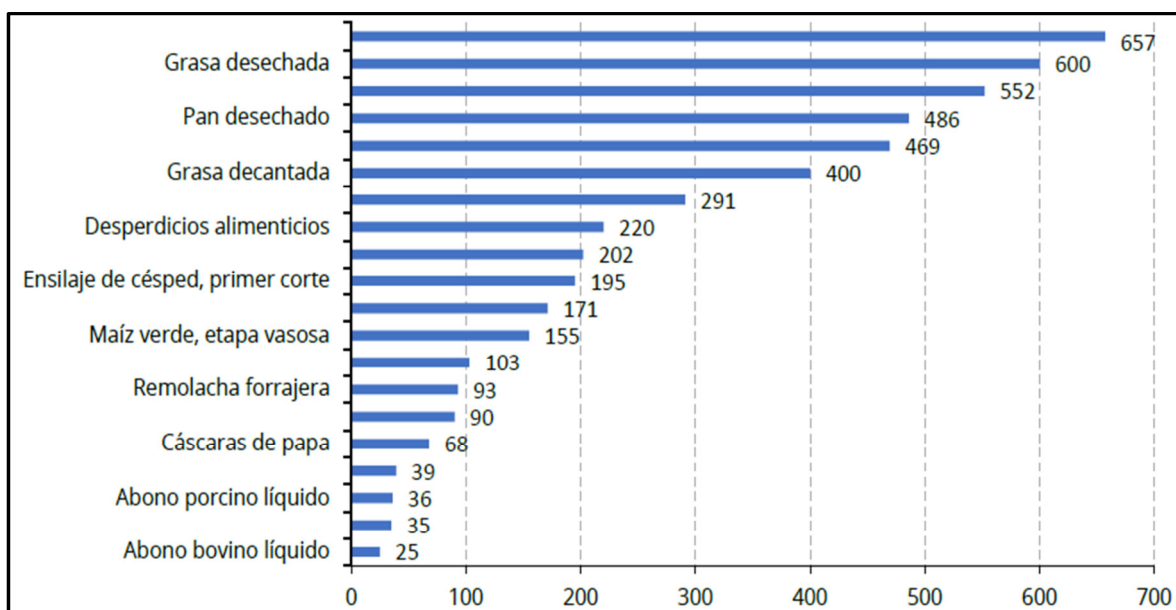
Estiércol	Disponibilidad (kg/día)*	Relación (C/N)	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014

Estiércol	Disponibilidad (kg/día)*	Relación (C/N)	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
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

* El dato se refiere a la cantidad estimada de estiércol que es posible recolectar de todo el producto.

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.



Gráfica 7.5: Rendimiento potencial de biogás por tipo de biomasa (m³ biogás / TM).

Fuente: Evaluación e implementación de Proyectos Piloto de Biodigestores de El Salvador, CNE-CEPAL, año 2019.

7.3.3 Estufas de Leña para Aprovechamiento de Biomasa

Los dispositivos utilizados para la cocción de alimentos que utilizan leña como principal combustible (también pueden utilizar residuos agrícolas o excremento de animal), se han diseñado para lograr una combustión eficiente, disminuyendo de esta forma el consumo de leña o combustible empleado. Normalmente tienen una chimenea para minimizar los impactos a la salud y al medio ambiente ocasionados por los fogones tradicionales.

Dinámica de la combustión

Durante la combustión de los cuerpos, el desprendimiento de calor se realiza de forma diferente de acuerdo con las características físicas y químicas de cada cuerpo. Una magnitud que permite caracterizar cuantitativamente el calor de los cuerpos durante la combustión, es el calor específico de combustión, que se representa con la letra (I).

Se define el calor específico de combustión (I) como la cantidad de calor (Q) que cede la unidad de masa del cuerpo al quemarse totalmente. El calor específico de combustión (I) se expresa en unidades de energía (J) por unidades de masa (Kg) y depende del tipo de combustible. La cantidad de calor (Q) desprendida por cierta masa (m) de combustible, al quemarse totalmente, puede ser calculada mediante la fórmula:

$$Q = I \times M$$

Cuando se estudian los valores relativos a los calores específicos de combustión de los combustibles, se pueden extraer algunas conclusiones de relevante importancia para lograr mayor eficiencia en su empleo.

Resulta interesante apreciar cómo el calor de combustión de la leña seca es el doble del correspondiente a la leña verde. Este hecho nos conduce a concluir que si cierta masa (m) de leña húmeda desprende una cantidad de calor (Q) al quemarse totalmente, entonces, cuando quemamos una masa (m/2) de leña seca podemos obtener la misma cantidad de calor. En otras palabras, al utilizar la leña seca se ahorra la mitad de la madera que se quema. Esto nos indica que durante la utilización de la madera como combustible siempre será más conveniente emplear la leña seca, en consideración a su calor de combustión.

Tabla 7.8: Calores específicos de combustión de diferentes materiales.

Materiales Combustibles	Calores específicos de combustión	
	(Kcal/Kg)	(MJ/Kg)
Hidrógeno	33,915.90	142
Gas metano	13,136.40	55
Gasolina	11,225.70	47
Petróleo crudo	11,225.70	47
Queroseno	10,986.80	46
Carbón bituminoso	8,598.40	36
Antracita	8,359.40	35
Coque	8,120.70	34
Alcohol etílico	7,165.30	30
Carbón vegetal	7,165.30	30
Alcohol metílico	5,254.50	22
Madera de pino	5,015.70	21
Cascarón de coco	4,776.90	20
Turba seca	4,776.90	20
Leña seca	4,299.20	18
Turba húmeda	3,821.50	16
Aserrín seco	3,582.60	15
Cáscara de arroz	3,582.60	15
Lignito	3,104.90	13
Bagazo de caña seco	2,149.60	9
Leña verde	2,149.60	9
Planta de maíz seca	2,149.60	9
Aserrín húmedo	1,910.70	8

Fuente: Del Valle Sebastián. USAC. 2005

Definición de Combustión

Se entiende por combustión, al proceso mediante el cual se produce la quema de cualquier sustancia, ya sea gaseosa, líquida o sólida. En este proceso, el combustible se oxida y desprende calor, y con frecuencia, luz. El oxidante no es oxígeno necesariamente, ya que puede ser parte de un compuesto químico, como ácido nítrico, HNO_3 , o perclorato de amonio, NH_4ClO_4 , y puede quemarse nuevamente durante una serie de pasos químicos complejos.

La combustión del Oxígeno con el Carbono, Hidrógeno, Azufre, se efectúa en proporciones de peso bien determinadas, así pues por cada átomo de Carbono se necesitan 2 átomos de Oxígeno para llegar a la combustión perfecta formando CO_2 (dióxido de Carbono), el Carbono que se quema con deficiencia de aire forma el gas

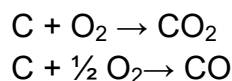
CO (monóxido de Carbono), que representa solo el 30% de una combustión perfecta, por lo tanto la combustión al formarse CO es incompleta.

El Hidrógeno se combina siempre en proporción de 2 átomos de Hidrógeno con uno de Oxígeno formando vapor de agua H₂O, y el azufre es de proporción 1:2 es decir un átomo de Azufre por 2 de Oxígeno, este gas es perjudicial porque al enfriarse los productos de la combustión, el agua que se forma en la combustión y la que está presente en la humedad del combustible se condensan y reaccionan con el gas anhídrido H₂ formando ácido sulfúrico H₂SO₄, sumamente corrosivo y ataca los conductos metálicos de escape.

Proceso de la combustión

La mayoría de los procesos de combustión se realizan con aire (Oxígeno + Nitrógeno + Argón) y no con Oxígeno puro. Este proceso se traduce a la oxidación de los componentes de un combustible, en cuya ecuación química representativa la masa permanece inalterable. Para los cálculos se desprecia el Argón y se toma 21% de Oxígeno y 79% de Nitrógeno.

Pero los dispositivos de combustión no queman necesariamente todo el combustible que se les suministra, teniendo las siguientes reacciones:



El CO₂ se forma a menor temperatura y sin duda es el producto deseado; el CO se forma a mayores temperaturas, y no es tan deseado debido a que su formación va acompañada por una menor liberación de calor.

Aire teórico

Es la cantidad mínima de aire capaz de proporcionar el Oxígeno suficiente para la combustión completa del carbono. Cuando se obtiene combustión completa no puede haber oxígeno en los productos de la combustión.

En la práctica no es posible tener una combustión completa ni con las proporciones "ideales" químicamente correctas a menos que se administre una cantidad mayor de aire teórico.

Esto se debe a que de acuerdo a las probabilidades no es posible que cada una de las extraordinariamente numerosas moléculas del combustible encuentre una molécula de oxígeno para combinarse con ella. Por lo tanto la oxidación total del combustible se logra utilizando en la mezcla exceso de aire.

Relación Aire:Combustible

Es la razón teórica entre masa o moles de aire teórico y la masa o moles de combustible. Para calcular el número de moles necesarios de aire se aplica la siguiente ecuación:

$$n_{a.teo} = \frac{1}{0.21} \left[\left(1 - \frac{1}{2} \times f \right) \times \frac{[c]}{12} - \frac{y}{32} \right] \text{ [mol]}$$

Dónde:

f = % de madera que se convierte en CO

C = % de carbono en la madera.

Y = % de oxígeno presente en la madera menos ocho veces el porcentaje de hidrógeno

Si la cantidad de aire suministrado en una combustión es inferior al aire teórico necesario la combustión será incompleta y habrá presencia de CO.

La combustión incompleta se debe a tres causas:

- a) Insuficiencia de Oxígeno.
- b) Mezcla imperfecta entre el Oxígeno y el combustible.
- c) Temperatura demasiado baja para mantener la combustión.

Debido a la naturaleza heterogénea del proceso de combustión de biomasa sólida, solo parte del aire que entra a la cámara de combustión será utilizado, el resto no será utilizado.

Entonces es necesario agregar más aire que lo que teóricamente se definió. Y la relación aire/combustible que se recomienda es un factor de 1.2 a 1.5.

Tiro de chimenea

Para tener una combustión completa, se necesita tener aire ingresando según lo calculado. Es aquí donde el diseño de la chimenea entra a jugar un papel crucial.

La chimenea crea una presión de succión que está en función a parámetros de altura de la misma y las densidades de los gases. Es esta presión de succión lo que hace que la estufa mantenga una alimentación de aire a través de la cámara de combustión.

Para calcular esta presión también se tiene que tomar en cuenta la geometría interna de la estufa, ya que por ahí deberán pasar los gases de combustión y una geometría compleja solo obstruye su paso haciendo que decrezca la succión que da la chimenea. Otro factor que influye es la pérdida de presión por la misma dinámica de los gases.

Un factor que alterará el tiro de la chimenea es la colocación de deflectores que servirán como reguladores al paso de los gases entre la estufa. Se colocan deflectores a lo largo del paso de los gases para mejorar la transferencia de calor por convección e incrementar el tiempo de residencia. Otro elemento que se puede incorporar para aumentar la eficiencia de la chimenea es un damper en la base de la misma, con esto se disminuye la corriente de gases que le ingresan, con lo que al igual que los deflectores, se obtendrá mayor tiempo de residencia de los gases en la estufa.

Combustión de biomasa

La biomasa se forma por un proceso llamado fotosíntesis, una reacción química que combina agua, CO₂ y energía solar. La reacción opuesta de la anterior es la combustión, que es la descomposición de la biomasa y liberando energía que se puede utilizar para cocinar, secar y calentar. A continuación se expondrán las características químicas y físicas de la biomasa.

La biomasa consiste en tres elementos químicos: hemicelulosa, celulosa e ignita.

También contiene agua, pequeñas cantidades de resinas y minerales. Según los análisis proximales de madera, la composición de esta es de aproximadamente 50% de C y 45% de O. La composición de la biomasa es considerada en términos de carbono, materia volátil y cenizas producidas cuando se calienta en ausencia de aire.

Son cuatro las variables físicas más importantes: tamaño / forma, densidad / estructura, contenido de humedad y valor calorífico.

Tamaño y forma: a mayor área superficial expuesta a las cantidades necesarias de oxígeno y calor, más rápido será el proceso de quemado por lo tanto habrá mayor potencia. Por ejemplo, pequeños pedazos de madera, astillas, se quemarán más rápido que leños grandes del mismo tipo de madera.

El tamaño de la leña siempre influenciará el diseño de una estufa, sobre todo de la cámara de combustión. La densidad y la estructura de la biomasa están íntimamente relacionadas por la proporción y el tamaño de los poros. A medida que la proporción de poros de un sólido incrementa, la densidad disminuye. Estos poros que mantienen aire y humedad tienen el efecto de facilitar el escape de gases volátiles y hacer más fácil que la materia se quemé.

La mayoría de combustibles biomásicos son higroscópicos (atraen moléculas de agua por lo tanto mantienen un nivel constante de humedad). De todos los combustibles biomásicos el menos higroscópico es el carbón, pero por sus grandes poros puede retener grandes cantidades de agua si se le moja.

Biomasa recientemente cortada posee niveles de humedad entre 80-90%, en un período de tiempo, dependiendo de la clase de biomasa que sea y factores climáticos, gran parte de esa humedad se evaporará, pero se llega a un punto en que ya no se puede perder más humedad. El contenido de humedad en la biomasa que se ha secado al aire está entre 10 al 26%.

El contenido de humedad en un combustible tiene gran importancia en la combustión del mismo. Después que la humedad en el combustible se ha calentado a 100°C, la humedad se evapora y esa energía que se utilizó para evaporarla se ha perdido completamente, no se puede recuperar. Un combustible con menor porcentaje de humedad que otro, será más eficiente y aprovechará mejor la energía que uno con mayor porcentaje de humedad.

Proceso de combustión de leña

Cuando un pedazo de leña es agregado al fuego, cambios químicos empiezan a ocurrir debido a la presencia de calor.

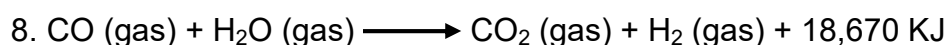
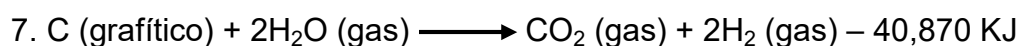
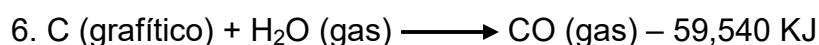
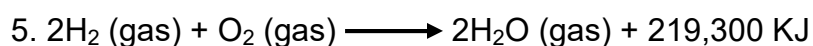
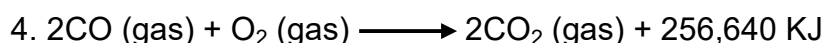
Primeramente se desprende CO₂ y agua sin presencia de llamas, a medida que la temperatura aumenta, gases de combustión de resinas se involucran en la reacción. A este primer proceso de degradación de madera se llama pirolisis.

Cuando la temperatura supera los 280 °C la porción de gases inflamables que emite es lo suficientemente caliente para empezar a arder. La combustión únicamente ocurrirá en presencia de oxígeno y a temperaturas sobre la de ignición del combustible, la temperatura promedio de ignición de la madera es de 600°C.

Es aquí cuando los gases arden por efecto de calor radiante de las otras piezas de madera ya ardiendo.

Una vez ardiendo, los gases pirolizados se quemarán a temperaturas de 1,100°C; estas llamas luego proveerán de calor radiante que mantiene y acelera la pirolisis. Las llamas que se miran en un fuego son estos gases quemándose. Es probable en muchos casos que las llamas no toquen la superficie de la leña. El flujo de gases, que se incrementa con el aumento de temperatura de las llamas, evita que el oxígeno llegue a la superficie de la leña. Es solamente después cuando la actividad de estos gases decrece, que la madera ya convertida en carbón, empieza a arder con una tenue llama azul; y los productos de esto serán CO₂ y C. Todos estos procesos ocurren simultáneamente en una hoguera o cocina de leña.

Las reacciones para la combustión de leña son las siguientes:



Procesos involucrados en una estufa mejorada

Son los procesos unitarios que deben ser considerados en el desarrollo técnico de una estufa eficiente, antes de ser puesta a disposición de los usuarios finales. La mejor manera de tomar en cuenta a éstos, es mediante el desarrollo y aplicación de estudios de eficiencia. Se entiende que la determinación de la eficiencia de una estufa mejorada es una relación matemática que involucra los siguientes procesos.

Transferencia de calor

- Convección.
- Conducción.

- Radiación.

Combustión

- Transferencia de masa.
- Transferencia de calor.
- Cinética de las reacciones involucradas. Velocidades y factores asociados.

Ciencia de los materiales

- Propiedades térmicas.
- Propiedades químicas.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.

Dinámica de los fluidos involucrados

- Flujo de gases dentro de la estufa.
- Flujo de gases en la chimenea.
- Flujo de aire en la entrada de la estufa.

8 CARACTERÍSTICAS DEL MUNICIPIO DE YUCUAIQUÍN

8.2 Ubicación General y Posición Geográfica

Yucuaiquín es un municipio del departamento de La Unión, se encuentra limitado al norte por el municipio de Jocoro (departamento de Morazán); al Este, por Bolívar (departamento de La Unión); al Sur, por San Alejo y Yayantique (departamento de La Unión); y al Oeste, por Uluazapa y Comacarán (ambos del departamento de San Miguel).

Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13°34'51' LN (extremo septentrional) y 13°29'09" LN (extremo meridional); 87°57'55" LWG (extremo oriental) y 88°02'00" LN (extremo meridional). Abarca una superficie de 55.18 kilómetros cuadrados.

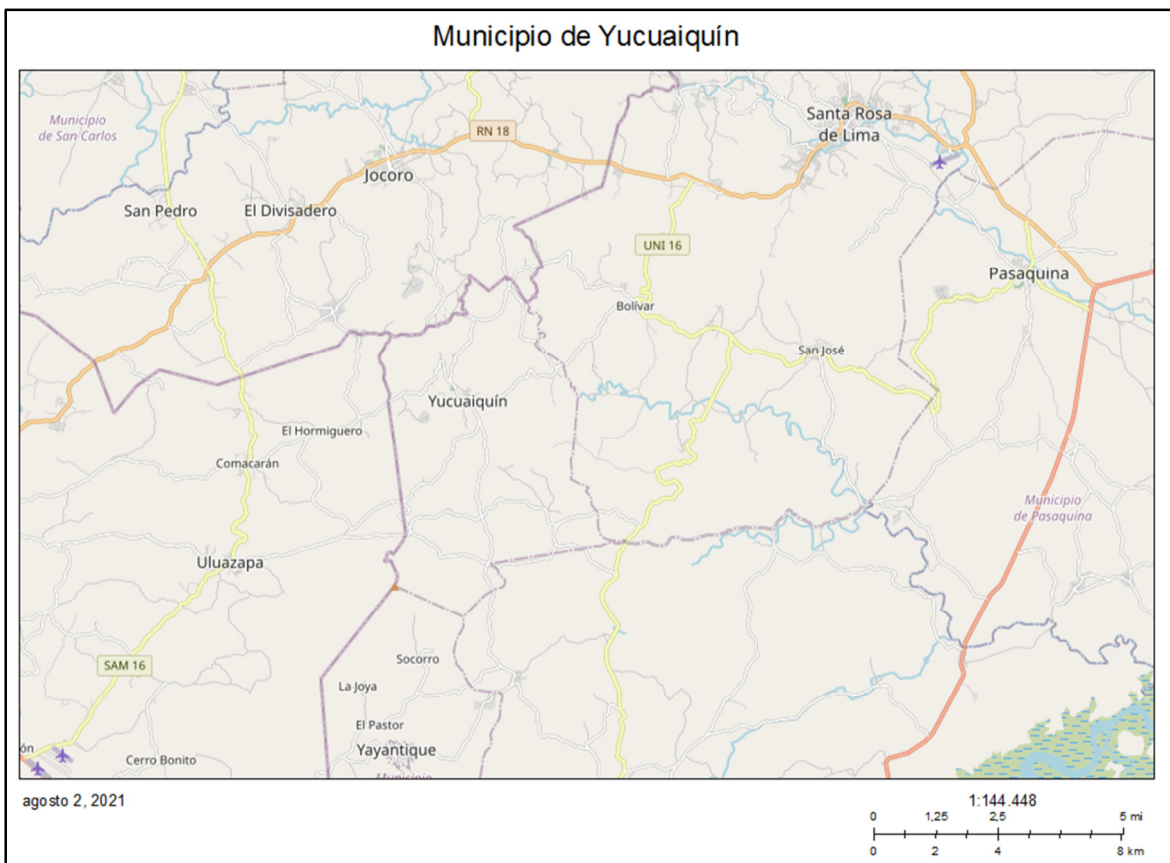


Figura 8.1: Mapa de Ubicación Geográfica del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Visualizador de Información Geográfico de Evaluación Ambiental (VIGEA) MARN, 2021.

La cabecera de este municipio es la villa de Yucuaiquín, situada a 460.0 metros sobre el nivel del mar, a 29.10 kilómetros al noroeste de la ciudad de La Unión, territorialmente está dividido en nueve cantones y 37 caseríos, que se detallan a continuación.

Tabla 8.1: Cantones y caseríos del municipio de Yucuaiquín.

Cantones	Caseríos
Candelaria	Candelaria Las Hojas Las Cabañas
Ciricuario	Ciricuario Concepción Los Pineda Los López El Portillo
El Carmen	El Carmen La Crucita Los Reyes Cerro Bonito o Los Guásimos Laguna Seca
La Cañada	La Cañada Los Ordoñez La Lagarta Los Orellana Los Avilés Palo Galán
Las Cruces	Las Cruces Los Mendoza El Zapotal Tapalito El Cerrón
Las Marías	Las Marías San Lucas La Guaruma Quebrada de Agua
Los Hatillos	Los Hatillos Los Buruca Llano Grande Los Melgar

Cantones	Caseríos
Valle Nuevo	Valle Nuevo
Tepemechín	Tepemechín o Los Salmerón Los Molina Los Paradas Aguas Calientes

Fuente: Monografías del Departamento de La Unión y sus Municipios, IGN, CNR. 1999.

Breve reseña histórica

YUCUAIQUIN (Potón) significa “Pueblo de fuego”, es uno de los pueblos lencas salvadoreños cuyos orígenes se remontan a la época precolombina.

En 1740, según el alcalde mayor de San Salvador, don Manuel de Gálvez Corral, San Gaspar Yucuaiquín contaba apenas con 12 indios tributarios, o sea unos 60 vecinos.

A partir del 12 de junio de 1824, había sido municipio del departamento de San Miguel. Ejerciendo la primera magistratura el doctor Alfonso Quiñónez Molina, la legislatura Salvadoreña, con fecha 28 de abril de 1926, emitió el Decreto por el cual otorgó al pueblo de Yucuaiquín el título de villa. Bajo la administración del Presidente Francisco Flores, se le otorgó el título de ciudad, el 15 de febrero de 2002.

La evolución de la población

Según las proyecciones del DIGESTYC, el municipio de Yucuaiquín cuenta con una población de 5,924 habitantes, con una densidad de 108 habitantes/Km². El 17.3% de la población es urbana y el 82.7% es rural. De acuerdo con los censos oficiales, la población ha evolucionado de la manera siguiente:

Tabla 8.2: Evolución de la Población del municipio de Yucuaiquín.

Año	Sexo		Total
	Hombres	Mujeres	
2019	2,869	3,191	6,060
2020	2,829	3,162	5,988
2021	2,791	3,133	5,924

Fuente: Estimaciones y Proyecciones Municipales, DIGESTYC.

En la Tabla 8.2 se puede apreciar que la población ha disminuido en los últimos años, principalmente debido a la Pandemia por Covid 19.

La principal actividad económica del municipio es la agricultura, siendo los productos más cultivados los granos básicos, hortalizas y frutas. En el rubro pecuario existe la crianza de ganado bovino, porcino, caballar y mular; también la avicultura.

La principal industria del municipio consiste en la elaboración de productos lácteos, papas y sombreros de palma.

8.3 Climatología

El departamento de La Unión cuenta con una Estación Meteorológica ubicada en la Ciudad de La Unión. De acuerdo a los registros que presenta dicha estación, en el departamento de La Unión el tipo de clima predominante según Kopper, Sapper y Laurer es Sabana Tropical Caliente (tierra caliente), ya que su altura sobre el nivel del mar oscila entre 0 y 800 mts.

Considerando la regionalización climática de Holdridge el departamento se clasifica como Bosque Húmedo Sub-tropical debido a que su biotemperatura es de < 24 °C, pero con temperatura del aire medio anual de > 24 °C.

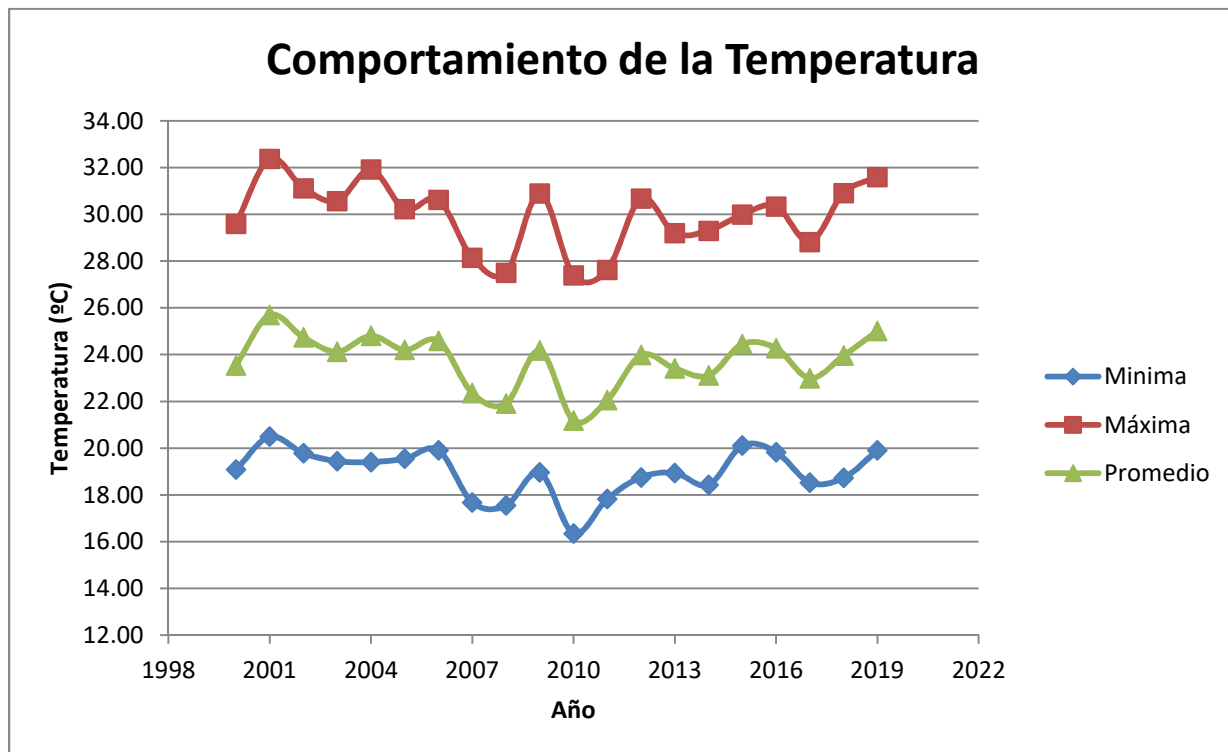
A continuación, se presenta el promedio histórico de las temperaturas registradas en el municipio de Yucuaiquín, correspondiente para los años 2000 al 2019.

Tabla 8.3: Promedio anual de Temperatura a 2 metros de la superficie.

Año	Temperatura (°C)		
	Mínima	Máxima	Promedio
2000	19.08	29.59	23.54
2001	20.49	32.38	25.69
2002	19.78	31.12	24.74
2003	19.44	30.57	24.12
2004	19.40	31.92	24.80
2005	19.55	30.22	24.20
2006	19.91	30.62	24.59
2007	17.68	28.14	22.35
2008	17.55	27.50	21.91
2009	18.96	30.90	24.17
2010	16.35	27.39	21.18
2011	17.83	27.63	22.06

Año	Temperatura (°C)		
	Mínima	Máxima	Promedio
2012	18.75	30.68	23.98
2013	18.94	29.20	23.41
2014	18.43	29.30	23.11
2015	20.11	29.99	24.45
2016	19.83	30.34	24.27
2017	18.53	28.81	22.99
2018	18.73	30.91	23.96
2019	19.90	31.59	25.01

Fuente: Data Access Viewer - Responsive web mapping application providing data subsetting, charting, and visualization tools in an easy-to-use interface, NASA 2021.



Gráfica 8.1: Comportamiento de la temperatura a 2 metros de la superficie.

Fuente: Elaboración Propia.

Vientos

La velocidad de los vientos que predomina tiene un promedio anual de 2.08 m/s para el año 2019, a una altura de 2 metros de la superficie, para una altura de 10 metros de la superficie, se registró un promedio anual de 3.17 m/s para el mismo año.

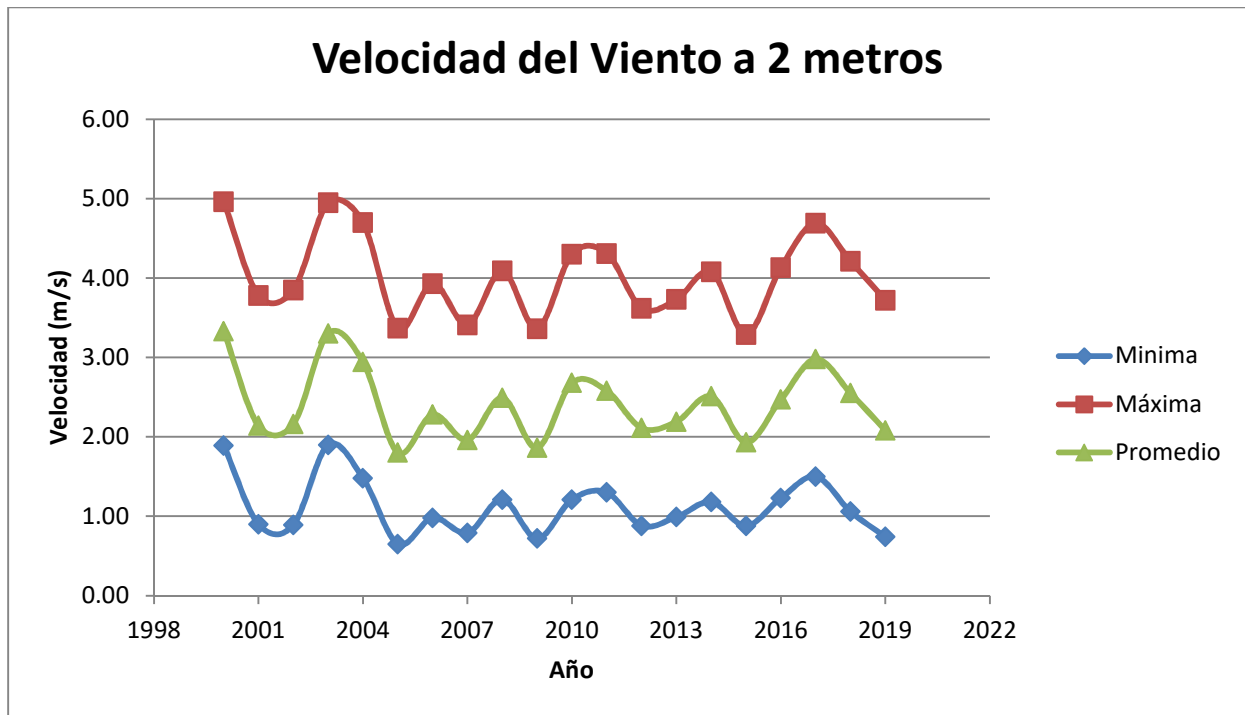
A continuación, se presenta el promedio histórico de las velocidades del viento registradas en el municipio de Yucuaiquín.

Velocidad del viento a 2 metros de la superficie para los años 2000 al 2019.

Tabla 8.4: Promedio anual de Velocidad del Viento a 2 metros de la superficie.

Año	Velocidad (m/s)		
	Mínima	Máxima	Promedio
2000	1.89	4.96	3.33
2001	0.90	3.78	2.14
2002	0.89	3.85	2.16
2003	1.90	4.95	3.30
2004	1.48	4.70	2.94
2005	0.65	3.37	1.80
2006	0.98	3.93	2.28
2007	0.79	3.41	1.96
2008	1.21	4.09	2.49
2009	0.72	3.36	1.86
2010	1.21	4.30	2.68
2011	1.30	4.31	2.58
2012	0.88	3.62	2.11
2013	0.99	3.73	2.19
2014	1.18	4.08	2.51
2015	0.88	3.29	1.93
2016	1.23	4.13	2.47
2017	1.50	4.69	2.98
2018	1.06	4.21	2.55
2019	0.74	3.72	2.08

Fuente: Data Access Viewer - Responsive web mapping application providing data subsetting, charting, and visualization tools in an easy-to-use interface, NASA 2021.



Gráfica 8.2: Comportamiento de la velocidad del viento a 2 metros de la superficie.

Fuente: Elaboración Propia.

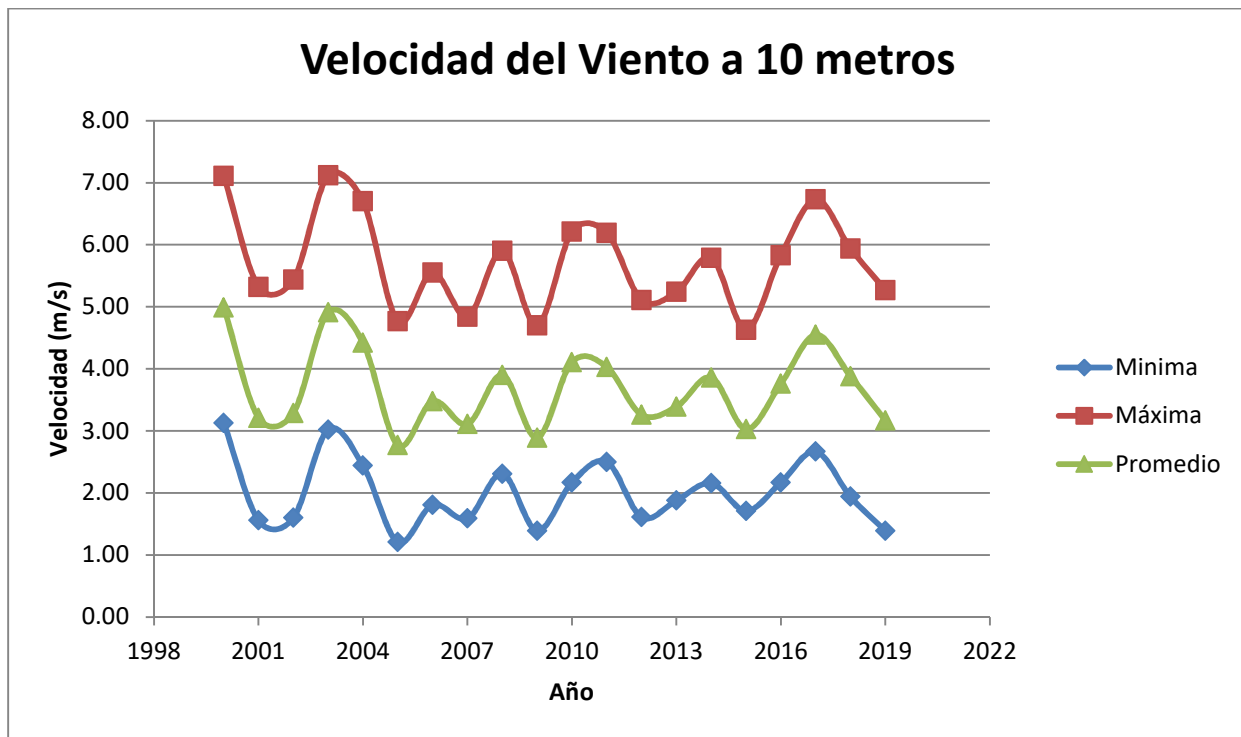
Promedio de velocidades de viento a 10 metros de la superficie para los años 2000 al 2019.

Tabla 8.5: Promedio anual de Velocidad del Viento a 10 metros de la superficie.

Año	Velocidad (m/s)		
	Mínima	Máxima	Promedio
2000	3.13	7.11	4.99
2001	1.56	5.32	3.21
2002	1.60	5.44	3.29
2003	3.02	7.12	4.91
2004	2.44	6.70	4.42
2005	1.21	4.77	2.77
2006	1.81	5.55	3.48
2007	1.59	4.84	3.11
2008	2.31	5.90	3.90
2009	1.39	4.70	2.89
2010	2.17	6.21	4.11
2011	2.50	6.19	4.03
2012	1.61	5.11	3.26

Año	Velocidad (m/s)		
	Mínima	Máxima	Promedio
2013	1.88	5.24	3.39
2014	2.16	5.79	3.86
2015	1.71	4.63	3.03
2016	2.17	5.83	3.76
2017	2.67	6.73	4.55
2018	1.94	5.94	3.88
2019	1.39	5.27	3.17

Fuente: Data Access Viewer - Responsive web mapping application providing data subsetting, charting, and visualization tools in an easy-to-use interface, NASA 2021.



Gráfica 8.3: Comportamiento de la velocidad del viento a 2 metros de la superficie.

Fuente: Elaboración Propia.

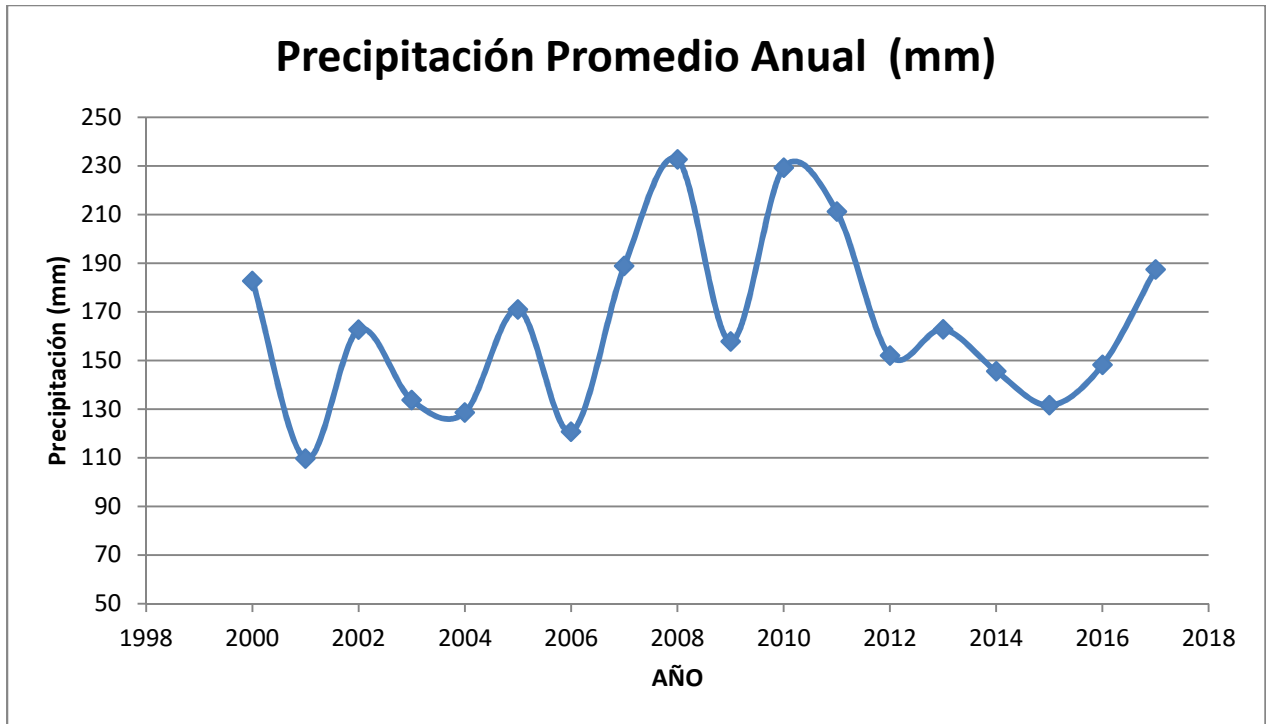
Precipitación

La cantidad de agua lluvia que cayó en el 2017 fue de aproximadamente 187 mm. A continuación se muestran los registros de lluvia para el período del 2000 al 2017.

Tabla 8.6: Promedio anual de lluvia registrada en el municipio de Yucuaiquín en mm.

Año	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Precipitación Promedio Anual
2000	291	152	256	198	272	104	6	183
2001	150	74	114	113	201	105	10	110
2002	186	244	102	115	279	180	34	163
2003	180	280	83	113	114	125	41	134
2004	214	152	109	91	200	124	10	129
2005	187	242	131	189	254	185	9	171
2006	75	204	115	59	177	171	43	121
2007	162	145	104	289	266	337	17	189
2008	200	198	263	261	394	303	10	233
2009	176	326	110	123	153	110	108	158
2010	322	266	307	302	335	52	21	229
2011	171	226	321	193	235	307	25	211
2012	188	129	56	313	165	200	12	152
2013	209	158	103	164	274	184	47	163
2014	125	154	29	180	278	206	49	146
2015	45	183	36	61	242	262	92	132
2016	160	190	80	167	198	206	36	148
2017	212	302	150	160	277	202	9	187

Fuente: Data Access Viewer - Responsive web mapping application providing data subsetting, charting, and visualization tools in an easy-to-use interface, NASA 2021.



Gráfica 8.4: Promedio de lluvias (mm) registradas en el municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Elaboración Propia.

8.4 Hidrografía

Entre los ríos principales que riegan el municipio de Yucuaiquín se tienen: Las Marías, Las Trancas, Amatillo, Tepemechín, Agua Caliente y Valle Nuevo.

Entre las quebradas principales se tiene: Las Hojas, La Cañada, La Quebradona, El Salto, Los Talpetates, El Manzano, Laguna Seca, La Leona, Llano Grande entre otros.

A continuación, se presente el mapa de ríos y quebradas de este municipio.

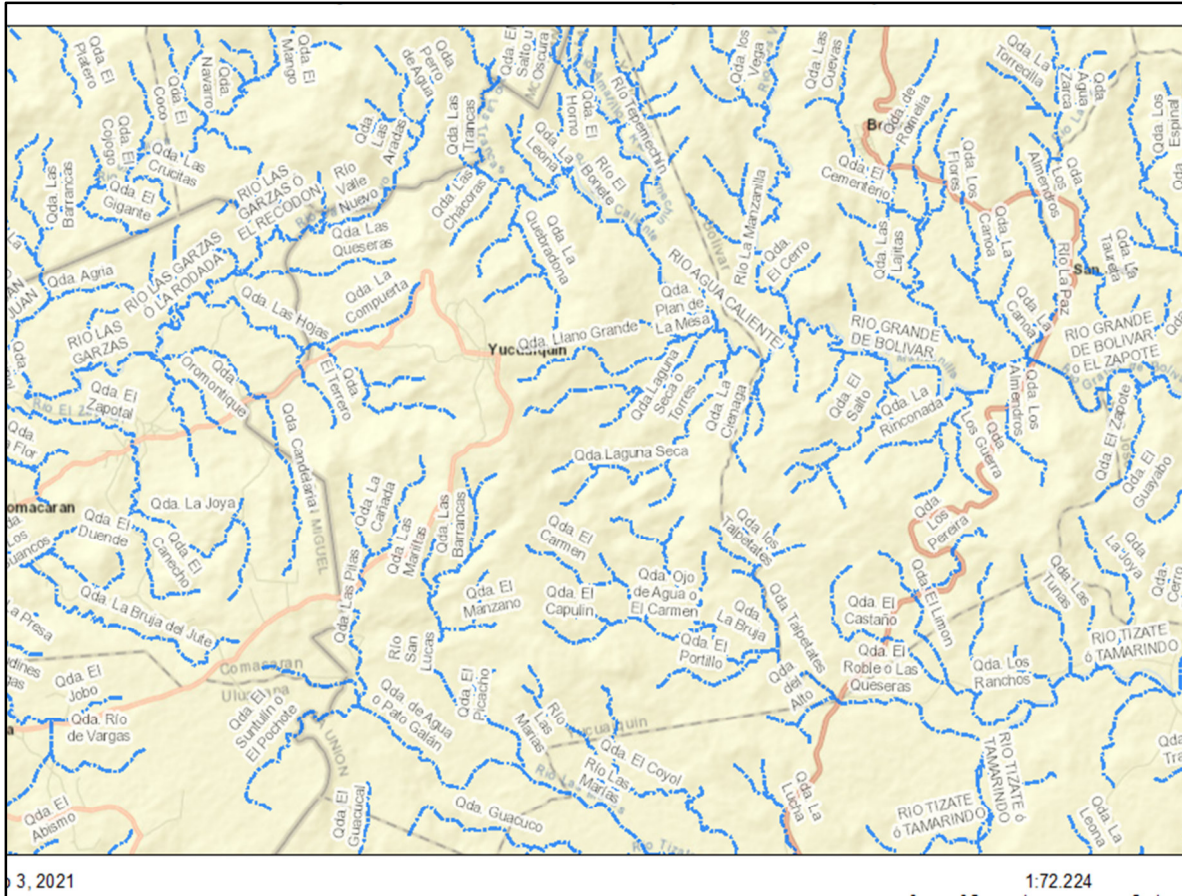


Figura 8.2: Mapa de ubicación de ríos y quebradas del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Visualizador de Información Geográfico de Evaluación Ambiental (VIGEA) MARN, 2021.

8.5 Orografía

Entre los principales cerros del municipio están: El Cerro La Cruz, El Perico, El Coyote, El Tigre, El Cham, La Ventana, El Pelón, Santo Domingo, El Peche, El Picacho, La Cacalota, Plan de la Mesa, El Chaparral y La Jagua Pelona.

8.6 Vegetación

El tipo de vegetación predominante en el municipio es de tipo abierta, sabanas, campos y pastizales similares de tierras bajas y submontañas (morral).

Las especies de árboles más comunes en el municipio de Yucuaiquín son: Conacaste, laurel, jote, amate, ceibo, tigüilote, maquilishuat, naranjo, almendro, limón, mango,

jocote, anona lisa, anona india, carao, guasimo, carbón negro, carbón blanco, eucalipto, nance, pievenado, quebracho, salamo, tempate y tamarindo.

El municipio presenta problemas de deforestación en los Caseríos Palo Galán, y la cañada. Muchos habitantes manifiestan que no se han ejecutado proyectos de reforestación en áreas específicas, sólo han sido donados árboles frutales a través de los Centros Escolares, Alcaldía e Iglesia Católica.

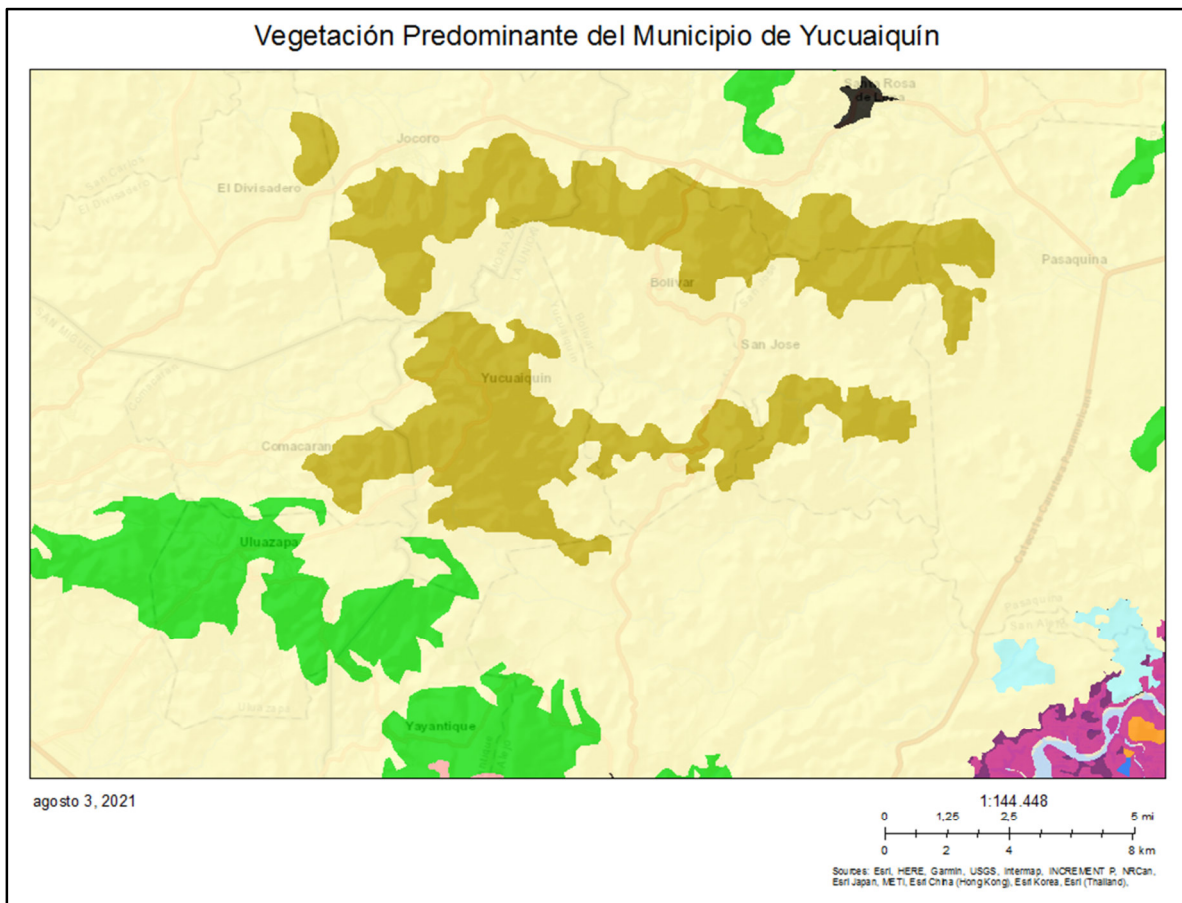


Figura 8.3: Mapa de vegetación predominante del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Visualizador de Información Geográfica de Evaluación Ambiental (VIGEA) MARN, 2021.

8.7 Fauna

Entre las especies de animales más comunes están: La ardía, zopilote, paloma ala blanca, iguana, zorrillos, pericos, roedores, culebras, venados, coyotes, chiltotas, pijullos; güis y torogoz. También se cuenta con animales doméstico y aves de corral.

El garrobo, el cusuco y el conejo están en peligro de extinción, debido a las personas que se dedican a cazar éstos animales para el consumo o el comercio.

8.8 Análisis Urbanístico

Estructura Urbana

El núcleo urbano se comunica con el resto de la Subregión a través de dos ejes principales, el que permite el acceso desde la ciudad de San Miguel y Comacarán, al poniente, que se convierte en la Calle Principal; y la Carretera que conecta a Uluazapa, al Sur-Oriente. Además, cuenta con accesos por calle de tierra mejorada, con las ciudades de Jocoro, Bolívar y Comacarán, así como caminos vecinales que enlazan los cantones y caseríos con la cabecera municipal.

El interior del núcleo urbano presenta una cuadrícula ortogonal, con orientación Oriente-Poniente en el centro del casco urbano, e irregular hacia las afueras, con edificaciones adaptadas a la topografía del terreno. Responde a la tradicional estructura urbana en centros rurales del país:

- Plaza central rectangular recién remodelada como Parque Municipal (materiales muy duros y poco jardín) y a la que tienen fachada los principales edificios: iglesia, mercado, alcaldía.
- La mayor parte de las calles son adoquinadas y empedradas en el núcleo central del área urbana, asfaltadas en las rutas de acceso principal y de tierra en las afueras (cantones) y las vías secundarias del centro.
- La Iglesia es sencilla de nave única, dimensiones modestas pero de interés. La fachada ha sido remodelada pero recuerda una fachada típica de iglesias barrocas coloniales. Presenta nichos con motivos decorativos en mosaico coloreados de azulejos que le dan cierta singularidad. El retablo parece de época y tiene un cierto interés como muestra del estilo barroco.
- Las edificaciones presentan poco valor patrimonial ya que han sido modificadas en materiales e incluso se han modificado tipologías (dos plantas, retiradas de la alineación de la calle, motivos ornamentales inadecuados, etc.). Hay algunos ejemplos muy visibles de edificaciones totalmente fuera de contexto (alturas, tipologías, colores de fachadas).

Sus ejes principales son la Calle Principal (orientación Este-Oeste), que conduce a la Lotificación San Francisco y continúa al poniente hacia Comacarán y San Miguel; la 1ª y 2ª Avenida Norte (Orientación Norte-Sur), que conducen a la unidad de salud al norte, y al Barrio El Calvario y al municipio de Uluazapa al Sur. A partir de estos ejes se conforman los barrios que constituyen el centro urbano: El barrio el Centro, El Calvario y La Cruz, totalizando 12 manzanas.

A partir de esta estructura inicial, se ha ido desarrollando el resto del área urbana de Yucuaiquín, sobre todo al Nor-Poniente, en el Barrio La Cruz; formando manzanas de trazo irregular, donde se ubican viviendas dispersas, sin respetar la continuidad de las calles. En las afueras, se está produciendo un crecimiento lineal sobre las carreteras que conducen a los caseríos y cantones.

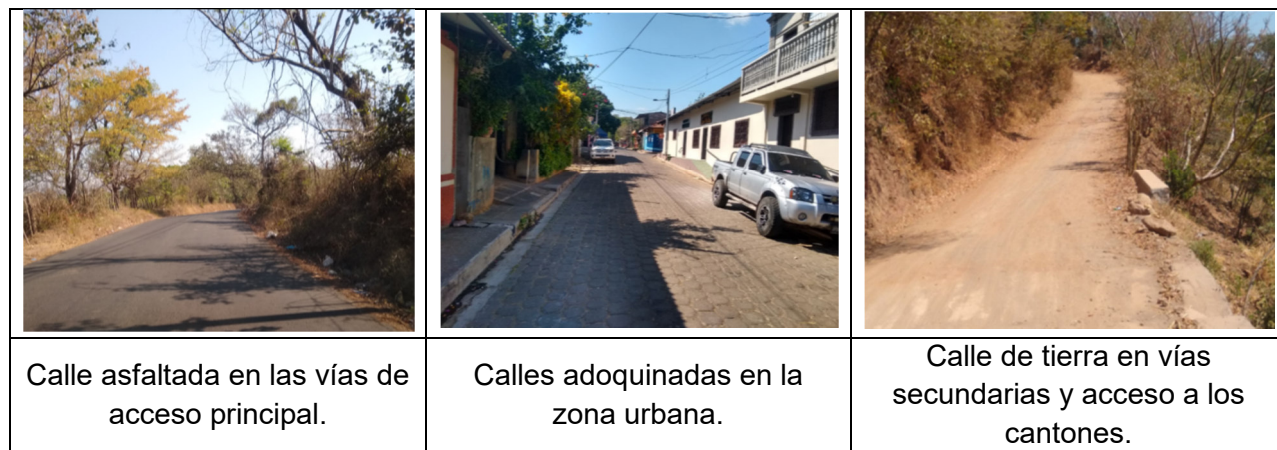


Figura 8.4: Tipo de calles del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Elaboración propia.

El perfil urbano predominante es el de edificaciones de un nivel, presentando en general una imagen urbana homogénea, sin elementos discordantes: generalmente, una mezcla urbano-rural, a medida que se alejan del centro. Sin embargo, en algunos puntos del casco urbano existen edificaciones con diseños modernos, de dos niveles, que causan una ruptura con la imagen tradicional.

El núcleo urbano cuenta con servicio de agua potable, pero carece de drenajes de aguas negras y lluvias. Las viviendas cuentan con letrinas de fosa, y las aguas servidas corren por las calles. Actualmente se detecta una tendencia de crecimiento del área urbana, sobre la carretera que conduce a San Miguel y Comacarán, hacia el Sur-Oeste, donde ya se ubican algunas viviendas dispersas. Asimismo, hacia el Norte y el Sur se aprecia un crecimiento moderado.



Figura 8.5: Tipo de infraestructuras ubicadas en el área urbana del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Elaboración propia.

8.9 Usos de Suelo

Urbano

El casco urbano de Yucuaiquín, como el resto de municipios pequeños de la Subregión, conserva la imagen tradicional de los pueblos pequeños, con algunas casas antiguas, el parque al centro, bordeado por las principales edificaciones: Iglesia, alcaldía, casa comunal, centros educativos y comercios. En las afueras, la imagen se vuelve casi rural, con calles de tierra y viviendas semi-rurales. Y como consecuencia de las remesas familiares, se observan varias construcciones modernas, de más de un nivel, en diferentes puntos del casco urbano y sus alrededores.

El uso predominante es el habitacional, de baja densidad, mezclado en el centro con usos institucionales, comerciales y de servicios, y los equipamientos urbanos básicos.

A continuación se presenta un mapa que refleja los usos del suelo existentes en el área urbana de Yucuaiquín, así como un cuadro resumen con los principales usos del suelo, que incluye suelo urbano consolidado y no consolidado, según la clasificación del Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU). Posteriormente se describe cada uno de ellos.

Tabla 8.7: Usos del Suelo del municipio de Yucuaiquín.

Uso del Suelo	Superficie (Ha)	Área (%)
Suelo Urbano	44.89	0.85
Urbano Consolidado	22.09	0.42
Urbano no Consolidado	6.36	0.12
Núcleo Rural	16.44	0.31
Suelo No Urbanizado	3,224.89	61.17
Conservación activa o Mantenimiento de Uso Actual	3,220.58	61.09
Conservación de Regeneración y Mejora	4.31	0.08
Suelo Rural	1,422.54	26.98
Agricultura con restricciones	283.35	5.37
Sistemas Agrosilvopastoriles	1,139.19	21.61
Zonas de Protección	579.53	10.99
Zona de Protección de Recursos Hídricos	579.53	10.99
TOTAL	5,271.85	100.00 %

Fuente: Informe Final Componente VIII-Volumen 7, Inypsa.

Habitacional

El uso predominante en el área urbana de Yucuaiquín es el habitacional de baja densidad, que ocupa el 73.65% del total del suelo urbano consolidado. Las viviendas son unifamiliares; en su mayoría constan de un nivel, y en algunos casos, de dos niveles. En general, los usos residenciales se mezclan con los comerciales, de servicios e institucionales, sin ningún criterio de compatibilidad, lo que ocasiona conflictos, problemas de saneamiento, como es el caso de la contaminación provocada por actividades de destace a cielo abierto por la falta de rastro, entre otros.

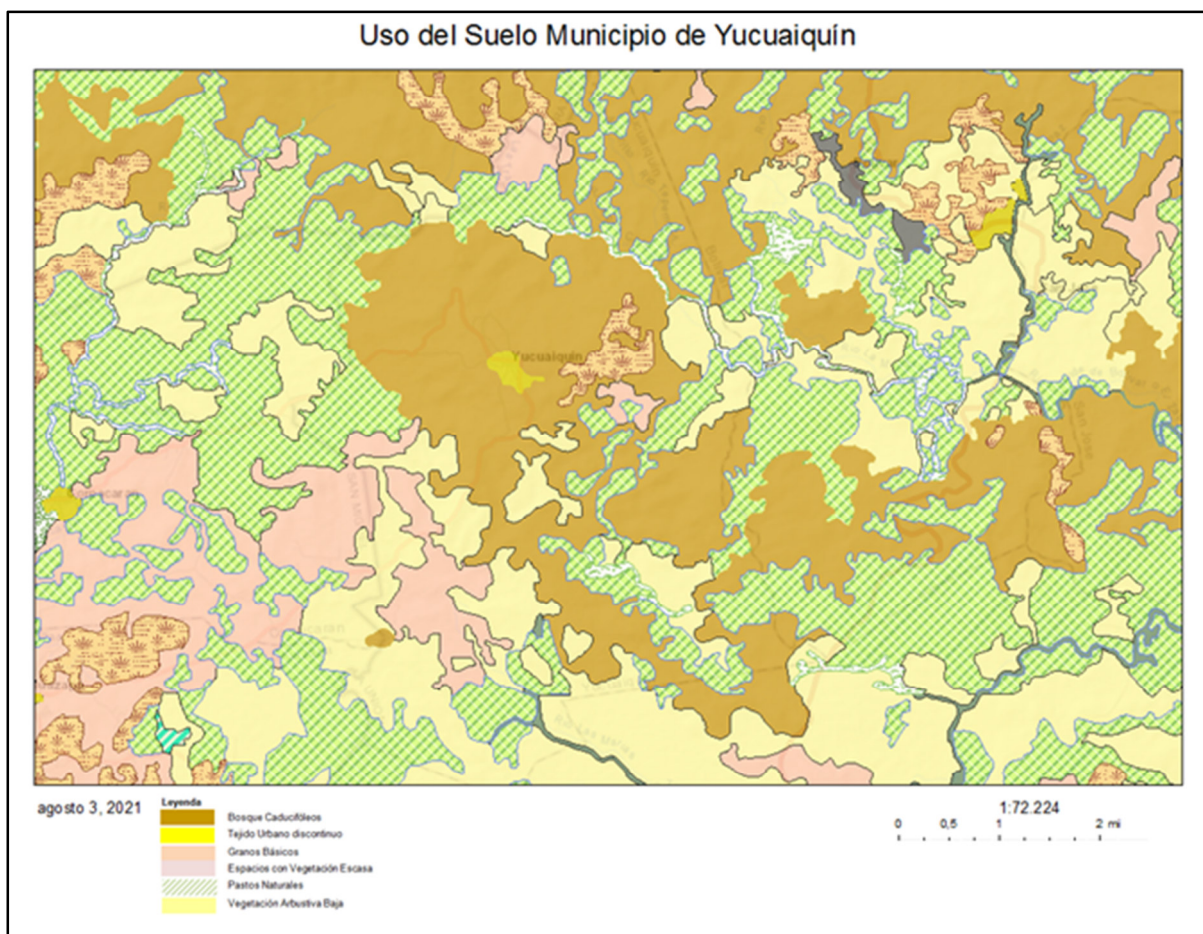


Figura 8.6: Mapa de uso del suelo del municipio de Yucuaiquín.

Fuente: Visualizador de Información Geográfico de Evaluación Ambiental (VIGEA) MARN, 2021.

8.10 Socio-económico

La economía de Yucuaiquín depende de la agricultura, la ganadería, la crianza de animales domésticos, la pequeña industria, el comercio y la labor profesional. Desde la década de los setenta centenares de personas han emigrado a los Estados Unidos, con el fin de ayudar a la economía de sus familias. Con su esfuerzo, han contribuido en gran manera al desarrollo del municipio.

Los establecimientos en su mayoría se encuentran ubicados concéntricos a la plaza central. Cuenta con agro servicios lo que supone la importancia del sector primario, especialmente la agricultura y ganadería cuyo destaque se tiene que realizar a cielo abierto por la falta de un rastro municipal.

Comercio – Servicios – Oficinas

En Yucuaiquín se observa cierto movimiento comercial y de servicios, sobre todo en el núcleo central del área urbana, concentrándose a lo largo de la calle principal y los alrededores del parque. El resto se encuentra disperso en todo el núcleo. Las principales actividades comerciales y de servicios incluyen: Una gasolinera, tiendas de artesanías, librerías, farmacia, talleres, ferretería, agro servicios, ciber café, tiendas de ropa y calzado, cafeterías, pequeños negocios con artículos de primera necesidad, que normalmente se combinan con la vivienda: chalets, tiendas, pupuserías, panadería, etc.

Cuenta con muchos establecimientos, tiene su propia estación de radio, y un buen servicio de atención a los visitantes, con ventas de comida en el parque, artesanías, un mercado bien equipado, etc. Se identifica la necesidad de instituciones bancarias y crediticias.

El mercado municipal se ubica sobre la 2^a. Calle Poniente y 3^a. Avenida Sur, frente a la Alcaldía, en el Barrio El Centro. Está bien organizado, y los domingos funciona como plaza de mercado, abarcando más calles del centro. Presta servicio a todo el municipio.

El municipio cuenta con servicios básicos de agua potable, energía eléctrica, telefonía, internet y correo, mayormente en el casco urbano.

El uso institucional se ubica en el centro del casco urbano, y consiste en: Alcaldía Municipal, Casa Comunal, Casa de la Cultura, PNC, Juzgado de Paz, un cementerio municipal situado a las afueras del casco urbano, Alcohólicos Anónimos, dos oficinas jurídicas, una asociación de inmigrantes. También cuenta con una Unidad de Salud, 14 Centros Escolares, un Instituto, 5 Iglesias Católicas y Evangélicas, 30 canchas deportivas, un parque, y estructura vial que comunica con la Ciudad de San Miguel, y con los municipios circunvecinos.

9 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE VIVIENDA MODELO

9.1 Introducción

En este Capítulo se seleccionará la vivienda modelo que cumpla con las siguientes características: sin acceso a energía eléctrica, materia prima disponible para la generación de biogás a partir de estiércol de animales de granja, uso de leña para la cocción de alimentos en estufas y con disponibilidad de agua, con el objeto de aplicar las 3 tecnologías propuestas en este estudio.

El desarrollo de la metodología se dividió en 3 partes:

- a. Consultas a actores clave del municipio, a entidades nacionales y empresas de distribución de energía eléctrica con el fin de recopilar información base del contexto energético e identificar el grupo meta de viviendas sin electrificación a nivel nacional, y en particular en el municipio de Yucuaiquín, así como recopilar información sobre aspectos socioeconómicos y ambientales de este del municipio.
- b. Encuesta: Una vez definido el alcance y universo del grupo meta en el municipio de Yucuaiquín, constituido por los cantones y caseríos que cuentan con viviendas sin electrificación, se procedió a estructurar la encuesta dirigida al grupo meta de viviendas.
- c. Visitas de campo:
 - c.1. Visitas de campo previo a la encuesta: a fin de identificar agentes clave de apoyo (Alcaldía, Escuelas, Unidades de Salud, ADESCOS) y establecer contactos.
 - c.2. Visitas de campo posterior al desarrollo de la encuesta: a fin de completar el levantamiento de datos, verificar los mismos y valorar las condiciones socioeconómicas y ambientales en las viviendas preseleccionadas en base a la encuesta, así como constatar la disponibilidad de los propietarios de estas viviendas para llevar a cabo la evaluación de las tecnologías de digestión anaeróbica, sistema fotovoltaico solar y estufas eficientes.

A continuación se presenta un resumen del desarrollo y resultados de cada una de estas etapas para la selección de la vivienda modelo.

9.2 Consulta a Entidades Clave

Se consultó sobre aspectos del contexto energético a nivel nacional y socioeconómico del municipio de Yucuaiquín, a las entidades vinculadas con el tema de energías renovables como lo es la academia, empresa privada, entidades de gobierno central y local. Las entidades contactadas fueron:

- Consejo Nacional de Energía (CNE).
- Alcaldía de Yucuaiquín.
- Empresas distribuidoras de electricidad (Empresa Eléctrica del Oriente (EEO) y Distribuidora de Usulután y San Miguel (DEUSEM)).

Las consultas se realizaron mediante cartas directas remitidas por el Director de la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) de la Universidad de El Salvador (UES), con el objetivo de conocer la situación de electrificación del municipio de Yucuaiquín, departamento de La Unión, y considerar aquellos hogares que no disponen del servicio de energía eléctrica a través de la red pública, que tengan potencial para la generación de biogás (mediante residuos agrícolas o estiércol de animales de graja), y uso de estufa eficiente a base leña y biogás.

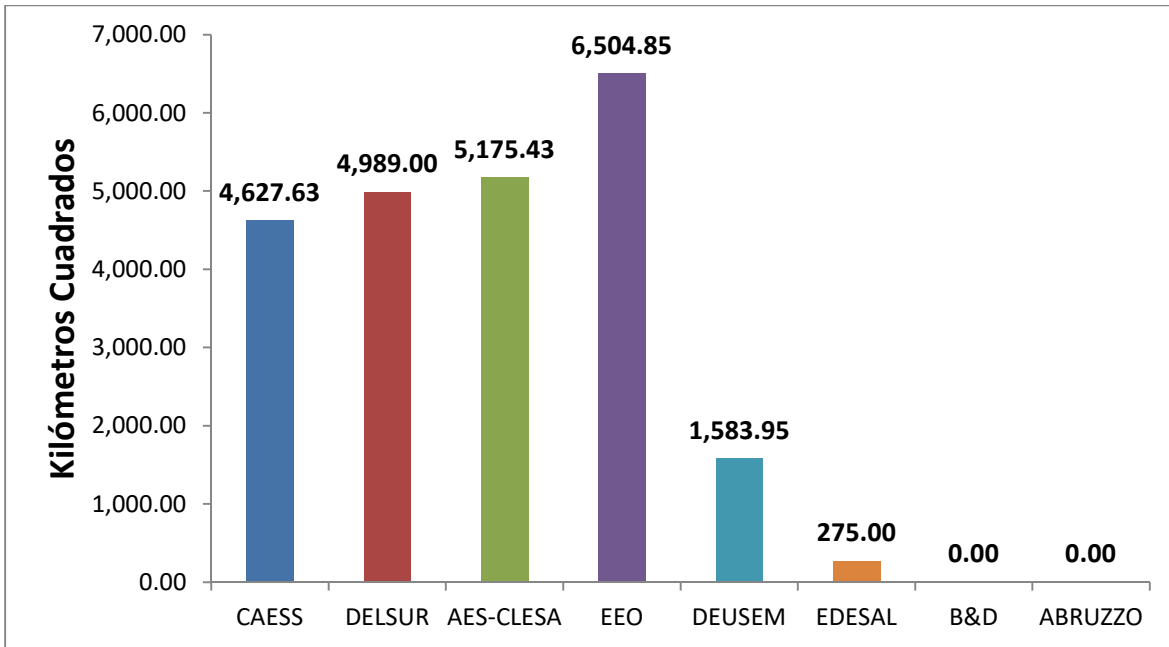
Otras consultas fueron realizadas a través de entrevistas presenciales con actores clave del municipio, entre los cuales podemos mencionar la entrevista con el Alcalde de la municipalidad.

9.2.1 Consultas e Informaciones Recopiladas en el Consejo Nacional de Energía

De las entidades relacionadas con el tema de energía eléctrica, solo se tuvo respuesta oportuna del CNE, mediante carta con referencia REF: CNE/SE/DAEE/2021/003/S/JFG (Anexo No. 2), dicha información se resume a continuación:

Información sobre las áreas servidas por las empresas distribuidoras de electricidad

En la siguiente gráfica, se muestra el área total servida de las distribuidoras de electricidad de El Salvador.

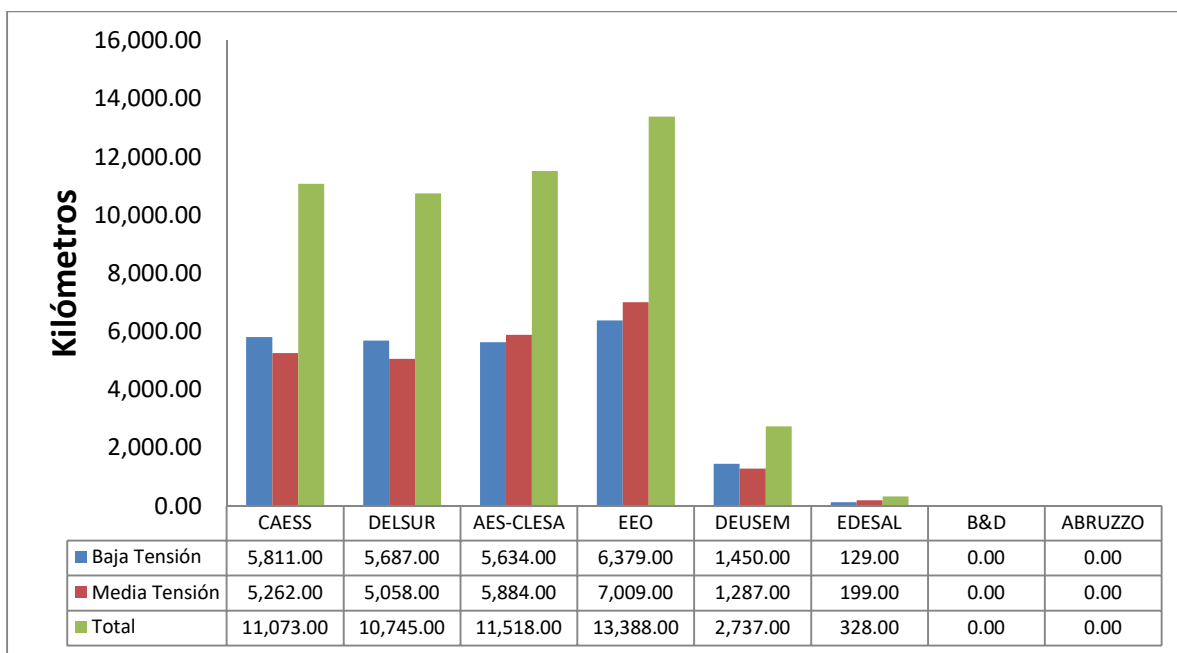


Grafica 9.1: Áreas servidas por distribuidoras de electricidad.

Fuente: CNE

Información sobre los kilómetros de línea de las empresas distribuidoras de electricidad

En la siguiente gráfica, se detallan los kilómetros de línea de las empresas distribuidoras de electricidad en El Salvador, en baja y media tensión, así como el total de línea.



Gráfica 9.2: Kilómetros de línea empresas distribuidoras de electricidad.

Fuente: CNE

Información sobre el área de influencia de las empresas distribuidoras de electricidad

En la Figura 9.1, se muestra el mapa con el detalle de área de influencia de las empresas distribuidoras de electricidad en El Salvador.

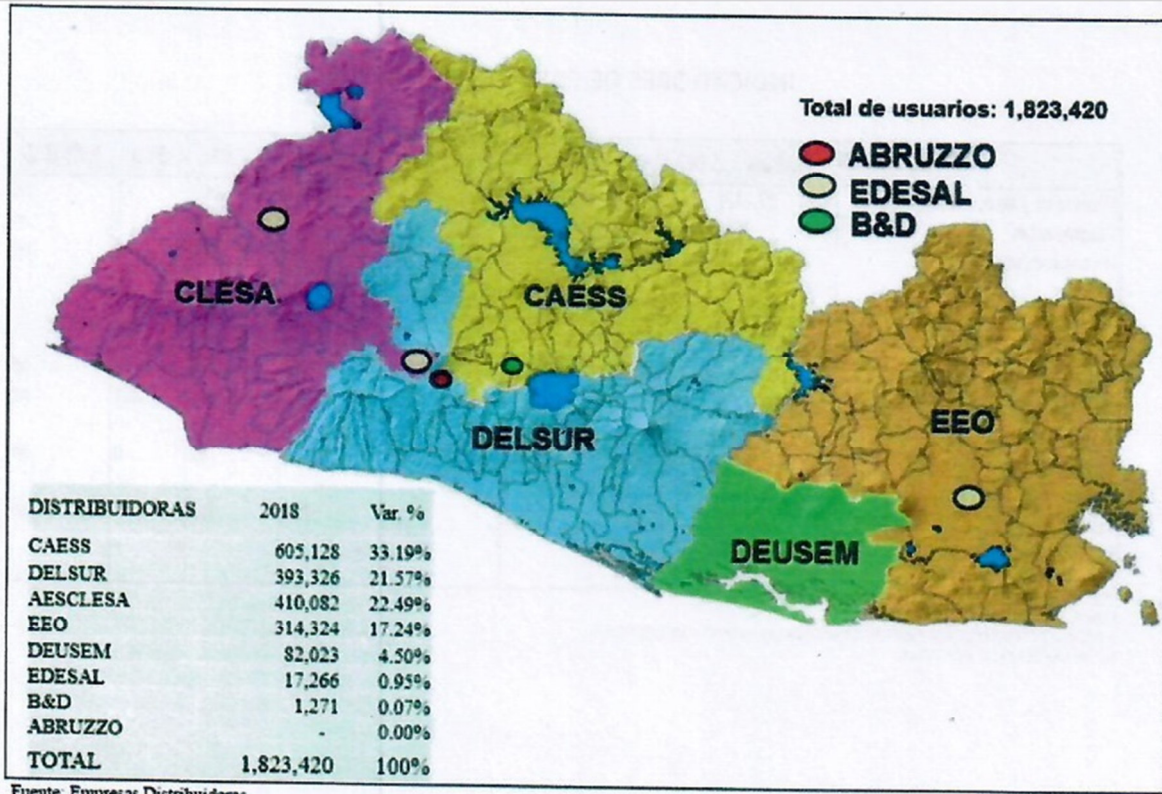


Figura 9.1: Área de influencia de las empresas distribuidoras de electricidad en El Salvador.

Fuente: CNE

Información sobre la red de distribución del municipio de Yucuaiquín ubicado en el departamento de La Unión

A continuación, se muestra el mapa de la red de distribución del municipio de Yucuaiquín, la empresa de distribución de electricidad que opera en el municipio es la Empresa Eléctrica del Oriente, S.A. de C.V.

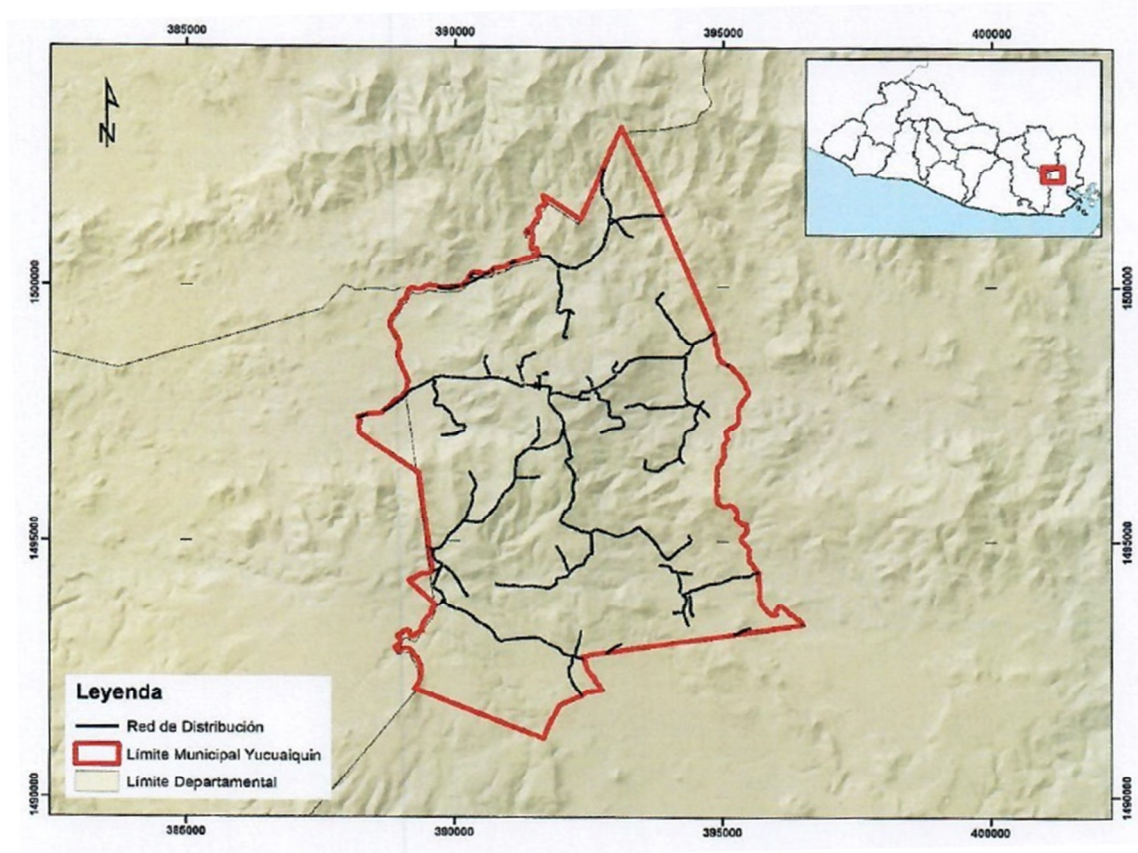


Figura 9.2: Red de Distribución del Municipio de Yucuaiquín.

Fuente: CNE

Información sobre los caseríos que no cuentan con acceso de energía eléctrica

En el municipio de Yucuaiquín, los caseríos que no cuentan con acceso a energía eléctrica vial son:

1. Caserío El Chaguite, Cantón Las Cruces, consta de 29 familias, 20 casas.
2. Caserío El Cerrón, Cantón Las Cruces, 28 familias, 20 casas.

9.2.2 Consulta e Informaciones Recopiladas en la Alcaldía Municipal de Yucuaiquín

Se realizó reunión con el Alcalde de la municipalidad, Sr. Oscar René Mendoza, el 25 de agosto de 2019, el cual manifestó los problemas principales de la comuna en cuanto a la falta de electricidad en algunos hogares en el área rural y el poco desarrollo que se ha tenido en la implementación de proyectos de energías renovables, como por ejemplo proyectos fotovoltaicos, proyectos de generación de biogás a partir de residuos agrícolas, y estufas eficientes de leña y biogás.

También se realizó una presentación, para dar a conocer las tecnologías de energías renovables, como lo son la energía solar fotovoltaica, la generación de biogás a partir de desechos agrícolas, y la optimación de los recursos forestales con el uso de estufas ahorradoras de leña, que se pueden desarrollar en la municipalidad, aprovechando los recursos con los que cuentan y mitigando así las necesidades energéticas de la población de la municipalidad.

9.2.3 Consulta e Informaciones Recopiladas en Empresas Distribuidoras de Electricidad.

Se consultó a la Empresa Eléctrica del Oriente, S.A. de C.V., sobre las zonas de cobertura y potencia de la red de distribución eléctrica de EEO y DEUSEM en el municipio de Yucuaiquín, y de los caseríos del municipio que aún no disponen en su totalidad del servicio de energía eléctrica, sin embargo, no se tuvo respuesta de esta empresa, en Anexo No.3 se muestra la carta de consulta.

9.3 Encuesta Digital Dirigida a la Población del Municipio de Yucuaiquín

Se elaboró una encuesta digital dirigida a las personas del municipio de Yucuaiquín, específicamente al área rural del municipio, utilizando la plataforma de Google Encuestas, se realizó de esta forma debido a las restricciones por la Pandemia de Covid-19. Dicha encuesta fue difundida por las principales redes sociales como Facebook, Whatsapp y Google, en Anexo No. 4 se presenta el contenido de la encuesta.

El objetivo de la encuesta es conocer los principales problemas de la comunidad en el área rural en cuanto al acceso de energía eléctrica, disposición de residuos agrícolas, tenencia de animales de granja como ganado bovino, porcino, aves de corral, etc., y el tipo de combustible que utilizan para la cocción de alimentos como gas GLP o leña, entre otros datos socioeconómicos, además, de conocer el estado en general de las principales comunidades rurales en el municipio donde se lleva a cabo la investigación.

Componentes de la Encuesta

El contenido de la encuesta, como se muestra en el Anexo X, se divide en 2 partes:

Parte 1: socioeconómica, cultural y medioambiental.

Parte 2: conocimiento de energías renovables no convencionales.

A continuación se presentan los resultados de cada una de las preguntas de la encuesta.

9.3.1 Viviendas Encuestadas y Respuestas Recibidas

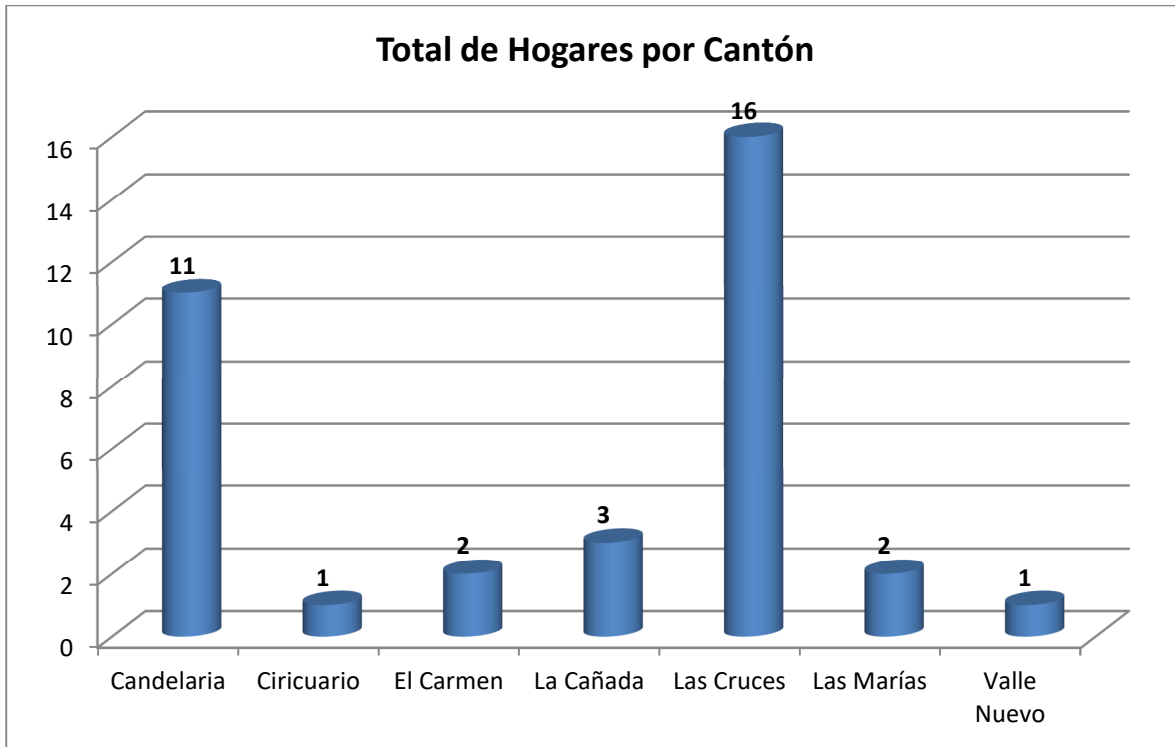
Se recopiló la información en el período del 16 de octubre de 2020 al 31 de marzo 2021 y se tuvo respuesta a 36 encuestas de un total de 50 encuestas enviadas.

De las encuestas recibidas, se obtuvo información de 36 hogares del área rural, la cual representa un total de 181 personas objeto de estudio.

9.3.2 Características Demográficas

Las características demográficas del municipio representa uno de los temas relevantes que se abordan en la Encuesta, mediante las cuales se pueden hacer análisis detalladas de diferentes temas socioeconómicos vinculados a la población y a los hogares del área rural.

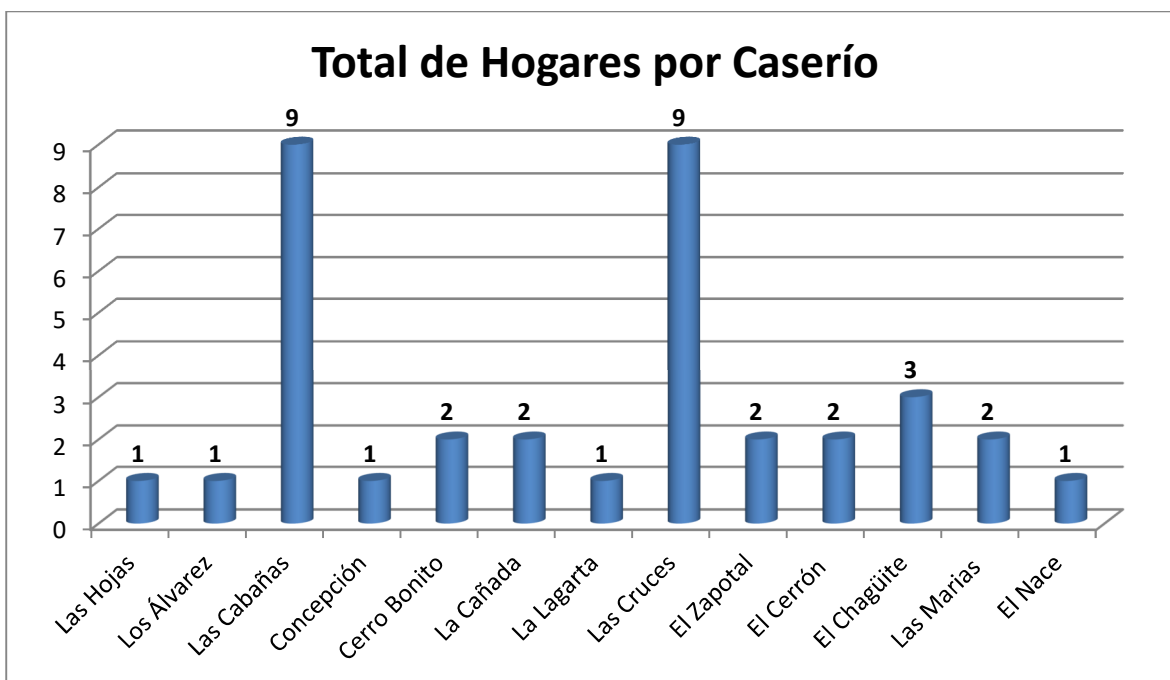
De acuerdo a los resultados obtenidos, la mayor parte de la población que contestó la Encuesta reside en el Cantón Las Cruces seguido del Cantón Candelaria, además, se obtuvo información de 6 Cantones restantes, sumando un total de 8 cantones del municipio de Yucuaiquín, tal y como se muestra en la siguiente gráfica:



Gráfica 9.3: Hogares que respondieron la encuesta digital por Cantón.

Fuente: Elaboración Propia.

Además de los cantones, se obtuvo información de 13 caseríos, los cuales se presentan en la siguiente gráfica:



Gráfica 9.4: Hogares que respondieron la encuesta digital por Caserío.

Fuente: Elaboración Propia.

Población

Una característica importante en términos demográficos es que más del 50% de la población se encuentra en edad menor a los 40 años, lo cual representa un potencial para que el municipio pueda proporcionar mayores niveles de productividad y mayor nivel de desarrollo.

Tabla 9.1: Información sobre el rango de edades de las personas del municipio de Yucuaiquín.

Número de Encuesta	Número de Personas	Rango de Edad (Años)					
		0-6	7-14	15-25	26-40	41-60	61-80
1	3	--	--	3	--	--	--
2	6	--	--	--	6	--	--
3	6	--	1	3	--	2	--
4	8	1	--	4	1	2	--
5	6	--	1	1	2	--	2
6	10	2	--	5	2	1	--
7	6	1	2	3	--	--	--
8	3	--	--	3	--	--	--
9	5	1	1	2	--	1	--
10	13	3	3	2	1	2	2
11	4	--	--	1	1	--	2

Número de Encuesta	Número de Personas	Rango de Edad (Años)					
		0-6	7-14	15-25	26-40	41-60	61-80
12	13	--	--	5	2	3	3
13	3	--	--	--	3	--	--
14	2	--	--	--	--	2	--
15	3	1	--	1	--	1	--
16	4	--	--	1	--	2	1
17	6	--	1	2	--	3	--
18	4	--	1	--	--	1	2
19	4	--	--	1	--	2	1
20	4	--	--	4	--	--	--
21	4	1	1	--	--	2	--
22	3	--	1	--	1	1	--
23	4	--	1	--	1	1	1
24	5	--	1	2	2	--	--
25	2	--	--	--	1	1	--
26	7	1	2	2	--	2	--
27	6	--	--	1	2	1	2
28	2	--	--	1	--	1	--
29	7	--	1	4	--	2	--
30	5	--	1	2	2	--	--
31	5	--	--	2	3	--	--
32	4	--	2	--	2	--	--
33	3	--	--	2	--	--	1
34	3	--	--	--	2	1	--
35	3	--	--	1	1	1	--
36	5	2	1	--	2	--	--
Total	181	13	21	58	37	35	17
Porcentaje (%)		7.18	11.60	32.05	20.44	19.34	9.39

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos revelan que la población es mayoritariamente joven, dado que el 32.05 % de la población se encuentra entre las edades de 15 a 25 años, y el 20.44 % se encuentra entre las edades de 26 a 40 años.

Población por sexo

Al diferenciar la población por sexo, los datos proporcionados por la Encuesta muestran que las mujeres representan el 47% de la población y los hombres el 53%.



Gráfico 9.5: Porcentaje de la población encuestada según sexo.

Fuente: Elaboración Propia.

9.3.3 Grupo Ocupacional

Al caracterizar a la población ocupada según grupos ocupacionales, se observa que a nivel del área rural el 22% son trabajadores de oficios domésticos, el 22% son agricultores y ganaderos, el 14% son trabajadores no calificados, el 11% son trabajadores de los servicios, el 11% son artesanos, el 8% son vendedores de comercio y mercados, el 6% trabajadores de oficina y el 6% restante son profesionales, docentes e intelectuales.



Gráfico 9.6: Caracterización de la población ocupada, por rama de actividad económica.

Fuente: Elaboración Propia.

9.3.4 Tenencia de la vivienda

Según estimaciones de la Encuesta, en cuanto a la forma de tenencia de la vivienda se observa que el 64% (23 familias) de los hogares son propietarios de sus viviendas, el 22% (8 familias) son ocupantes gratuitos que les han prestado la vivienda, el 8% (3 familias) son inquilinos y el 6% (2 familias) son propietarios y aún están pagando su vivienda.

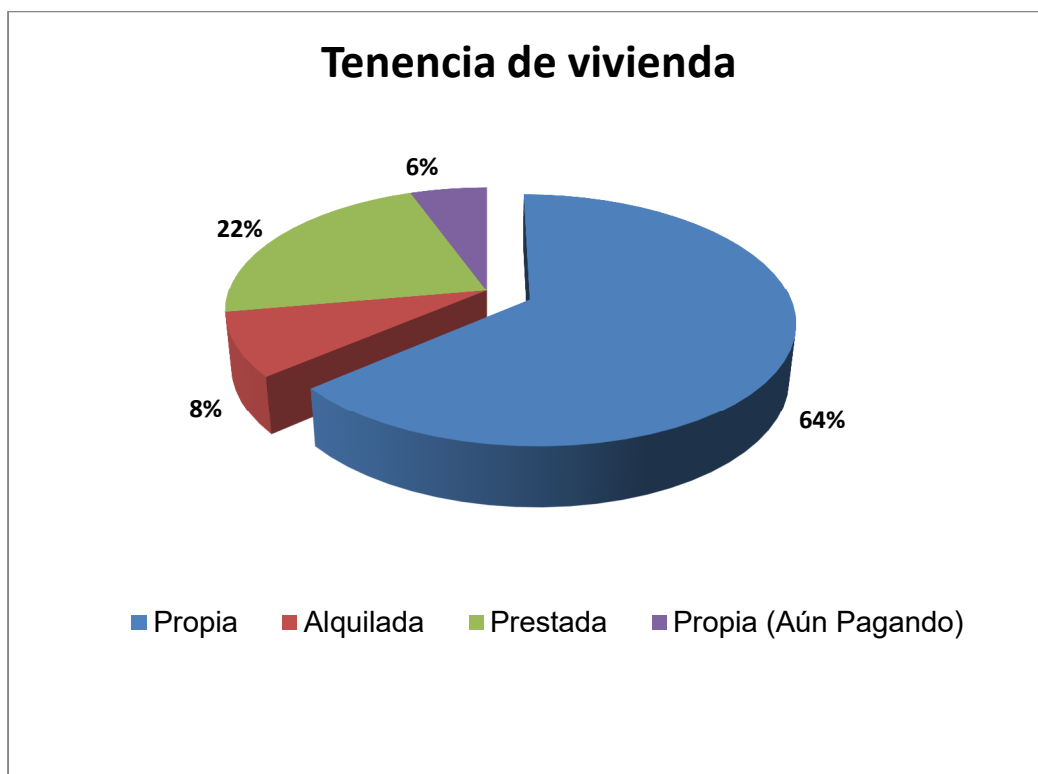


Gráfico 9.6: Hogares por forma de tenencia de vivienda.

Fuente: Elaboración Propia.

9.3.5 Materialidad de la Vivienda

La materialidad de la vivienda se refiere a las condiciones en las cuales viven los hogares y los materiales de los cuales está construida la vivienda que habitan.

Estos factores inciden notablemente en la calidad de vida de las personas, en aspectos esenciales como la salud, principalmente de los niños y personas adultas mayores. La Encuesta permite monitorear la situación de los hogares en estos indicadores.

Paredes

En relación con los materiales de construcción predominantes en las paredes de las viviendas, 33% (12 familias) son de adobe, 28% (10 familias) son de ladrillo rojo, 17% (6 familias) de concreto o mixto, 17% (6 familias) de bahareque, y el 5% (2 familias) restante de viviendas sus paredes son de madera, paja o palma o materiales de desecho.

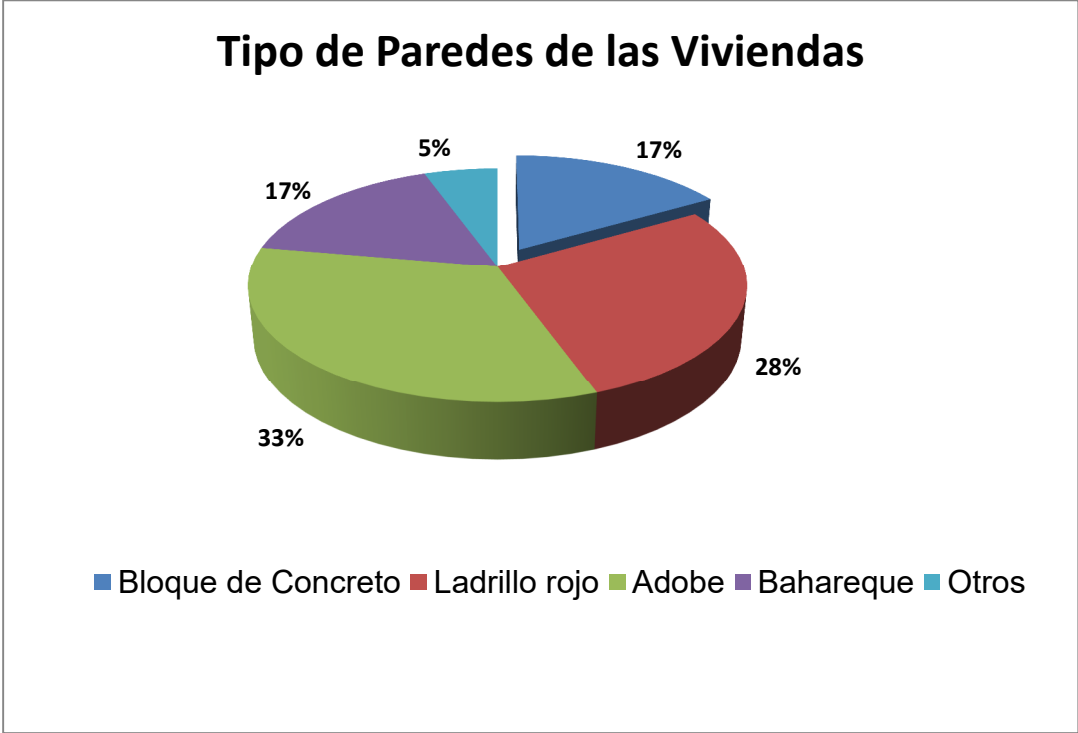


Gráfico 9.7: Hogares por material de vivienda, paredes.

Fuente: Elaboración Propia.

Techo

En cuanto al material de construcción del techo, en el área rural, la teja de barro ocupa el primer lugar con 47% (17 familias), la lámina metálica ocupa el segundo lugar con 33% (12 familias), seguido de la lámina de asbesto con 11% (4 familias), mientras que el techo de paja tan solo representa el 3% (1 familia), el 6% (2 familias) restante consta de otros materiales.

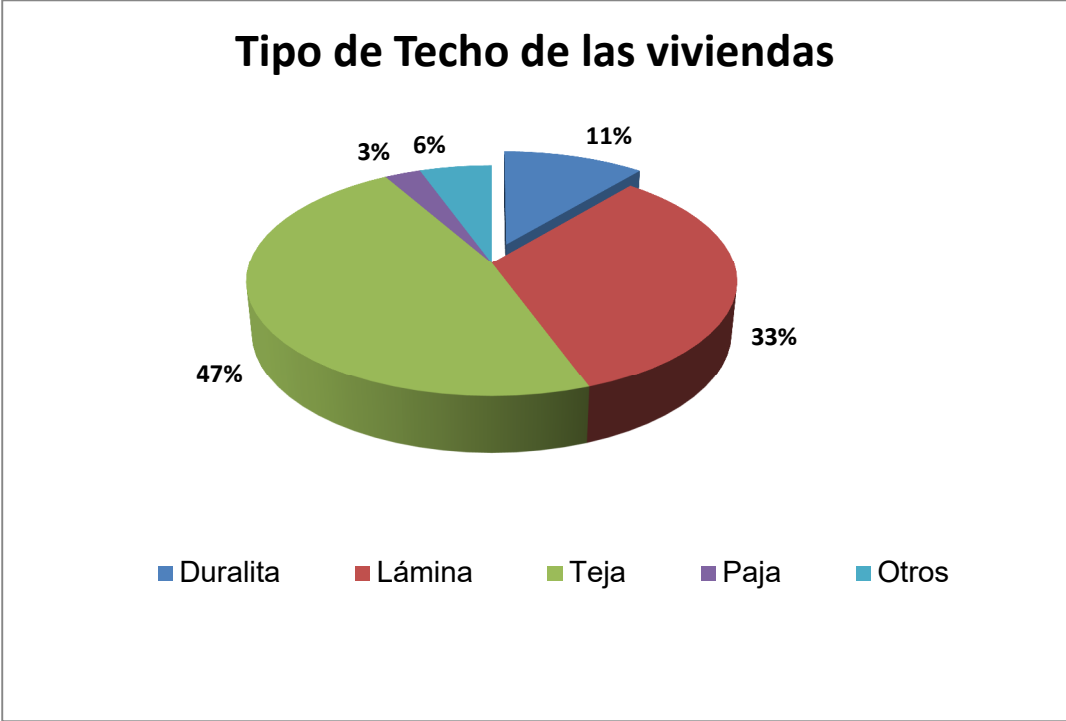


Gráfico 9.8: Hogares por material de vivienda, techo.

Fuente: Elaboración Propia.

Piso

En cuanto al material predominante en el piso se tienen que 58% (21 familias) de los hogares viven en viviendas con ladrillo de cemento, seguido de piso de cemento con 22% (8 familias), piso de tierra 14% (5 familias) y ladrillo cerámico 6% (2 familias).

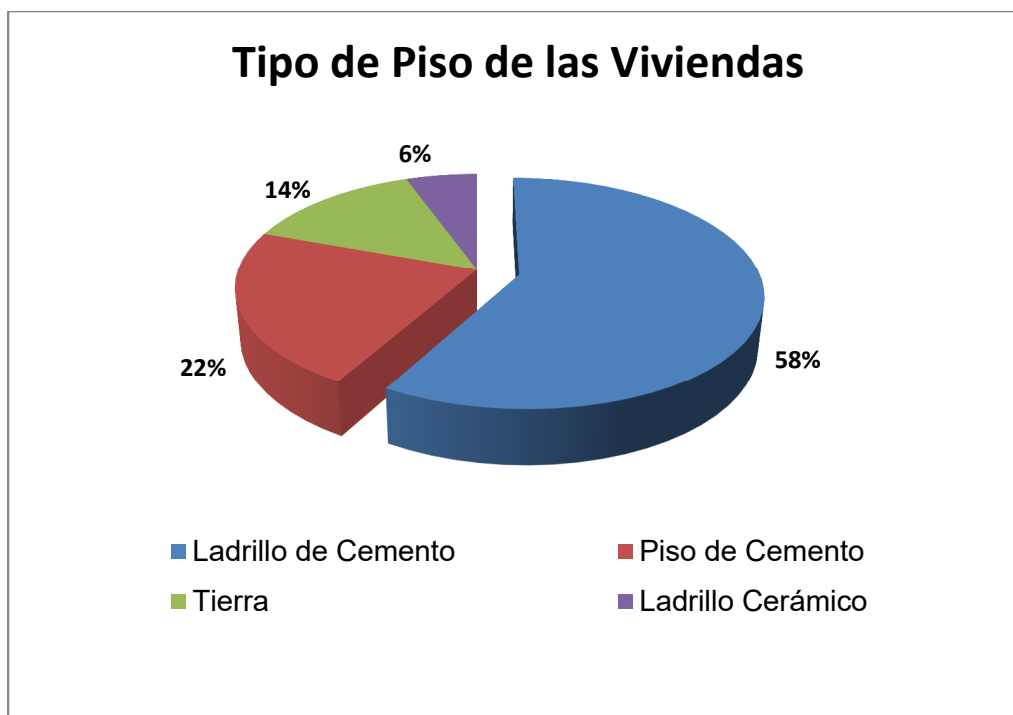


Gráfico 9.9: Hogares por material de vivienda, piso.

Fuente: Elaboración Propia.

9.3.6 Tenencia y Acceso a Energía Eléctrica

El objetivo de la encuesta en esta temática es conocer aquellas familias que no cuentan con energía eléctrica en el municipio.

Conforme a los datos recopilados y como se puede observar en el Gráfico 9.10, la temática en cuanto al acceso de energía eléctrica, un 11% de las familias encuestadas, que representan 4 familias, no tiene acceso a dicho recurso, debido a diferentes factores como costos de instalación, vías de acceso, etc.

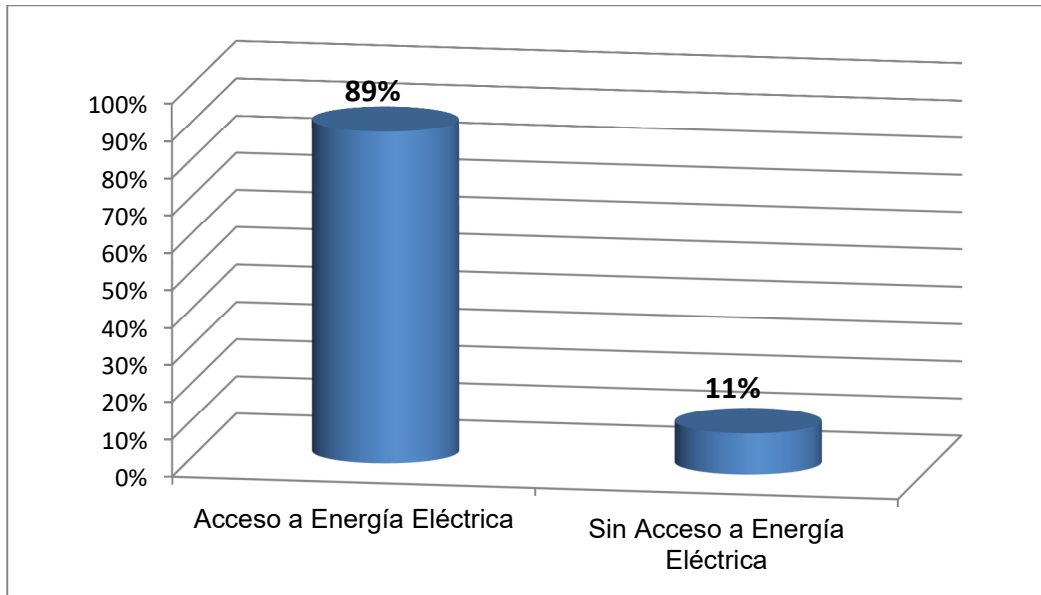


Gráfico 9.10: Porcentaje de familias que no tienen acceso a energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico anterior, se cuantifican 4 familias que no poseen energía eléctrica, las cuales se ubican en los siguientes caseríos:

1. Caserío Las Cruces, Cantón Las Cruces, consta de 2 familias.
2. Caserío El Chaguite, Cantón Las Cruces, consta de 1 familia.
3. Caserío El Carmen, Cantón Ciricuario, consta de 1 familia.

Posteriormente se definirán los criterios para la selección de la familia, que será objeto de estudio.

9.3.7 Fuentes de Agua

En este apartado se consultó sobre las fuentes de agua disponibilidad en los hogares del municipio de Yucuaiquín, los resultados se describen a continuación:

Los hogares que cuentan con acceso al servicio de agua por medio de una red privada representan el 47% (17 familias), los hogares que cuentan con pozo artesanal para el abastecimiento de agua son el 17% (6 familias), los hogares que cuentan con pozo privado representan un 11% (4 familias), los hogares que cuentan con cañería de la red de ANDA representan un 11% (4 familias), los hogares que obtienen el agua de ríos, quebradas o nacimientos son el 11% (4 familias), y los hogares que compran el agua son el 3% (1 familia).

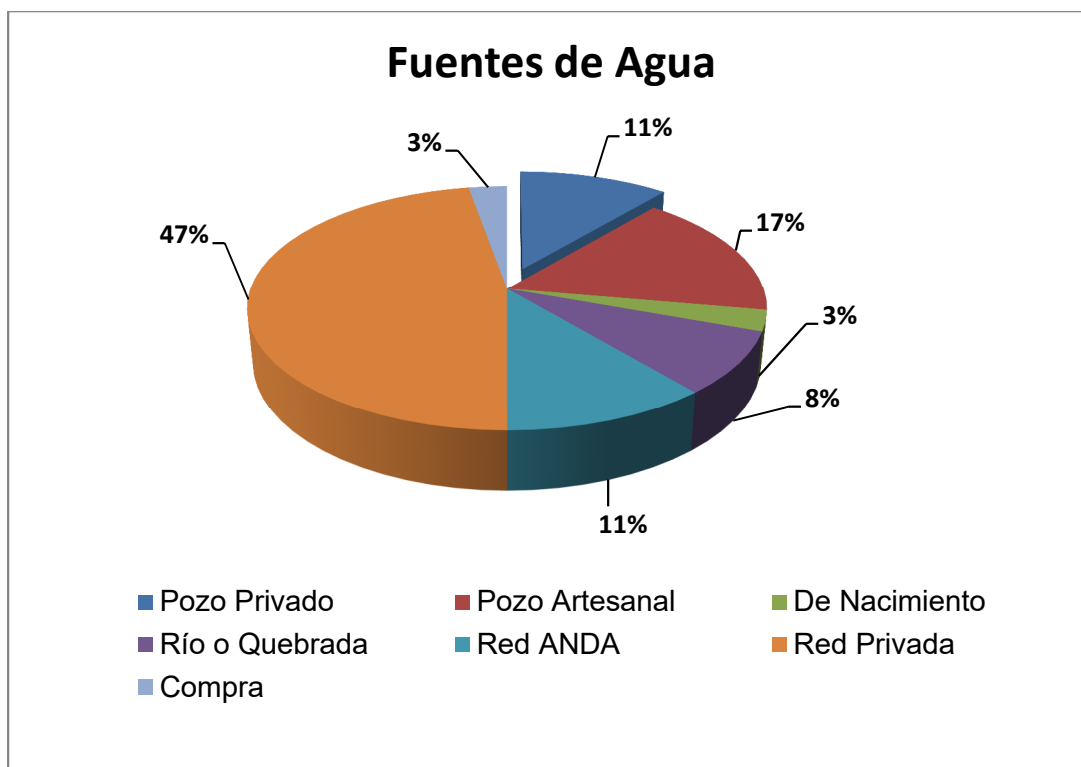


Gráfico 9.11: Hogares con acceso y tenencia de agua por tipo de fuente.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que solo el agua proveniente de la red de ANDA lleva un tratamiento, como lo es la cloración, el agua extraída de pozos, ríos, quebradas o nacimientos no posee ningún tipo de tratamiento, las personas hierven el agua para consumo (beber) y lo demás lo utilizan para servicios domésticos. Además, dentro de la alcaldía se impulsan proyectos de cosechadores de aguas lluvias, la cual consisten en la instalación de tanques superficiales para recolectar el agua lluvia para el uso de los hogares, en el área rural de la municipalidad.

9.3.8 Saneamiento

El tratamiento eficiente de las excretas es esencial, para evitar potenciales focos de infección, razón por la cual es importante monitorear esta situación.

La Encuesta revela que el porcentaje de hogares con tenencia de servicio sanitario a través de una fosa séptica con pozo de absorción (con letrina dentro o fuera de la vivienda) es del 75% (27 familias), los hogares que tienen letrina abonera son el 17% (6 familias), y los hogares que no disponen de ninguno tipo de tratamiento son el 8% (3 familias).

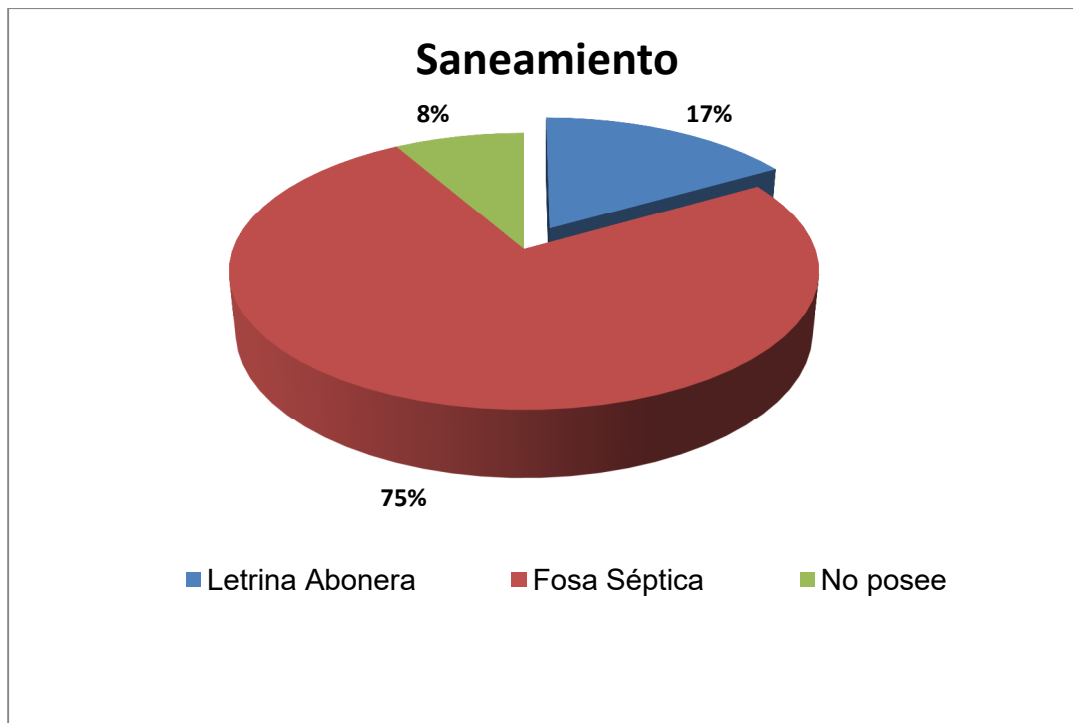


Gráfico 9.12: Hogares con acceso y tenencia de servicios sanitarios.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.9 Tratamiento de la basura

El adecuado tratamiento de la basura es importante para evitar focos de infección y la proliferación de potenciales vectores de enfermedades. En general es importante en materia de salud pública.

Tratamiento de la basura no reciclada

A nivel municipal, el 81% (29 familias) de los hogares se deshacen de la basura no reciclada principalmente quemándola, el 14% (5 familias) cuenta con recolección domiciliaria pública a través de la Alcaldía y el 5% (2 familias) la deposita en cualquier lado, o la entierran.



Gráfico 9.13: Hogares con tipo de tratamiento de la basura.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.10 Fuentes de combustible para cocinar

El principal combustible que los hogares utilizan para cocinar es el Gas Licuado del Petróleo (GLP) o gas propano, ya que el 28% (10 familias) de los hogares utilizan dicho combustible, seguido del uso de leña 3% (1 familia), y el 69% (25 familias) de los hogares utilizan ambos combustibles para la cocción de sus alimentos.

Se observa que la leña es principalmente usada en el área rural. Se sabe que el uso de leña tiene serias implicaciones sobre la condición de salud de los miembros del hogar, principalmente porque están expuestos al humo, por lo que se considera que el uso de leña para cocinar es inadecuado debido a la generación de humo nocivo para la salud, generando problemas respiratorios.



Gráfico 9.14: Hogares por tipo de combustible para cocinar.
Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos, es la Grafica siguiente se observa que el 42 % (15 familias) obtiene la leña del terreno propio, lo que implica únicamente gasto en el tiempo de recolección, sin embargo, el 58 % (21 familias) de las familias compra la leña que utiliza para la cocción de sus alimentos.

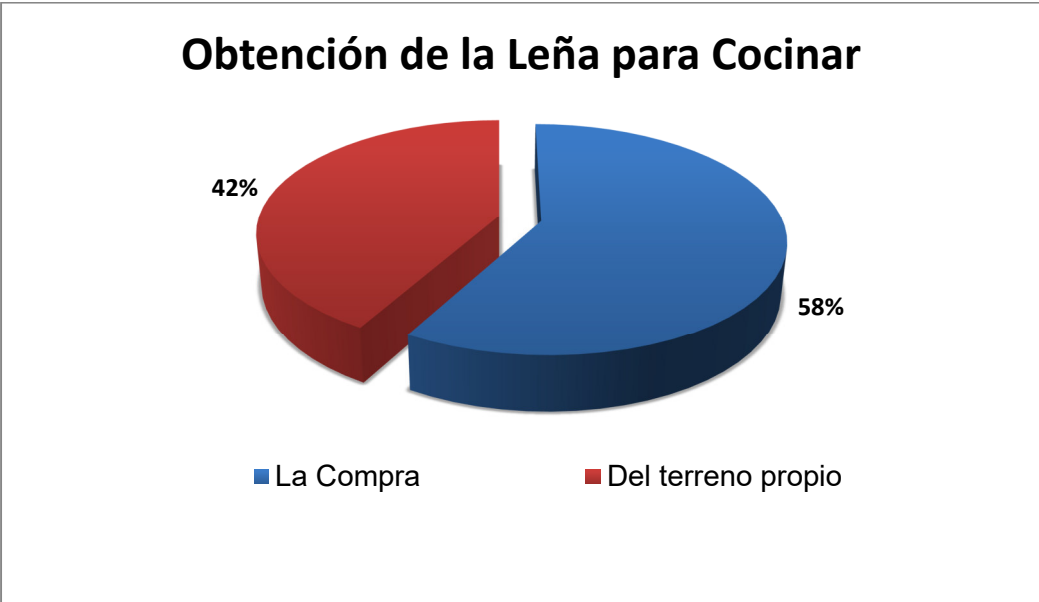


Gráfico 9.15: Hogares por obtención de la leña para cocinar.
Fuente: Elaboración propia.

Otro dato importante que arroja la encuesta, es conocer el precio que las familias tienen que incurrir para la leña que compra, la encuesta arroja el resultado que el precio de leña ronda entre 10 a 15 dólares al mes.

9.3.11 Disponibilidad de Materia Prima para Producción de Biogás

En este apartado se ponderan las familias que tienen la posibilidad de desarrollo de producción de biogás a través de la cuantificación y caracterización de la materia prima disponible, se buscan aquellas familias que poseen animales de granja, ya que el estiércol de estos animales son la principal materia prima para implementar este tipo de proyectos, en la siguiente tabla se describen las familias que tienen animales de granja.

Tabla 9.2: Familias encuestadas que tienen animales de granja.

Tipos de animales de granja	Número de familias que poseen animales de granja			
	No posee	De 1 a 3 animales	De 4 a 6 animales	7 o más animales
Cerdos	27	4	1	0
Vacas	28	8	1	3
Cabras	35	1	0	0
Gallinas	5	5	9	17

Fuente: Elaboración propia.

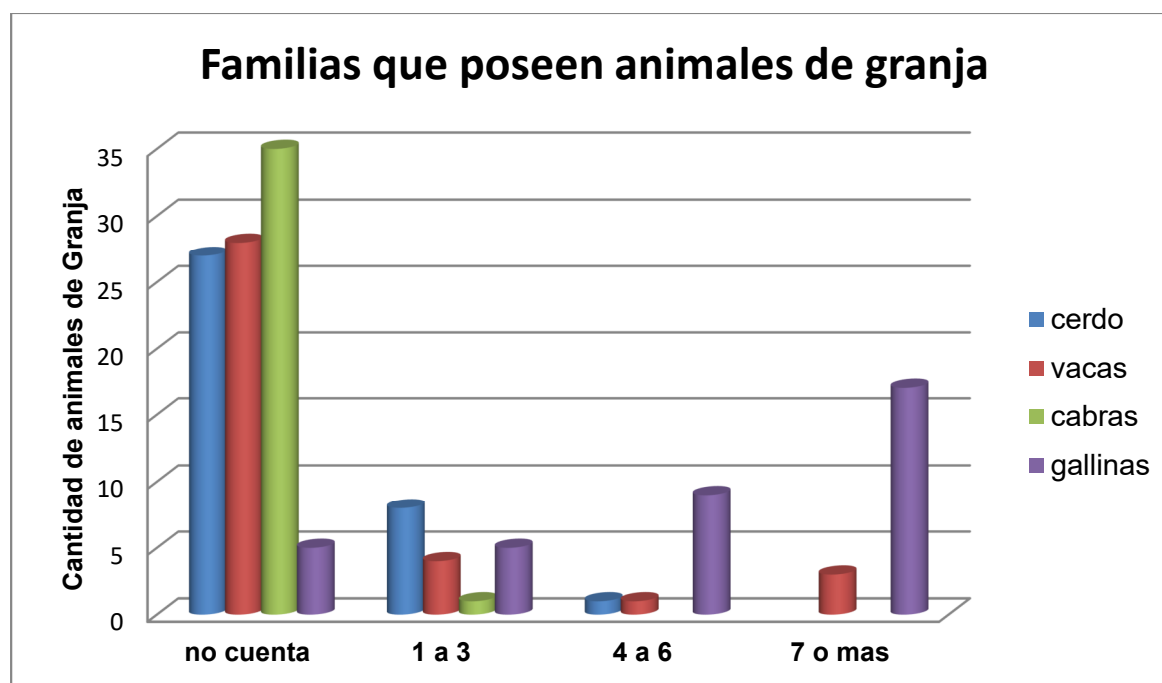


Gráfico 9.16: Número de familias encuestadas que poseen animales de granja.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observan en la tabla anterior, la mayor parte de las familias encuestadas cuenta con gallinas (17 familias, con más de 7 gallinas), le sigue familias que tienen ganado bovino (8 familias, con 1 a 3 vacas), luego familias que tienen cerdos (4 familias, con 1 a 3 cerdos) y por último solo una familia cuenta con 1 a 3 cabras.

En el apartado siguiente se definirá que familia cuenta con el mayor potencial para la generación de biogás.

9.3.12 Tipo de cocina que dispone las familias

También se obtuvo información sobre el tipo de cocina que utilizan las familias para la cocción de sus alimentos, de las cuales la cocina a leña que utilizan las familias es de fogón tradicional, y la cocina a base de gas GLP es de los modelos que se encuentran comercialmente en el mercado.

9.3.13 Tipo de cultivos que cosechan las familias

De las 36 familias encuestadas, solo 25 siembran cultivos, las 11 familias restantes no lo hacen, los principales cultivos son: maíz, maicillo y frijol. En la gráfica siguiente se presentan los porcentajes de los cultivos que se siembran mayormente en al zona.

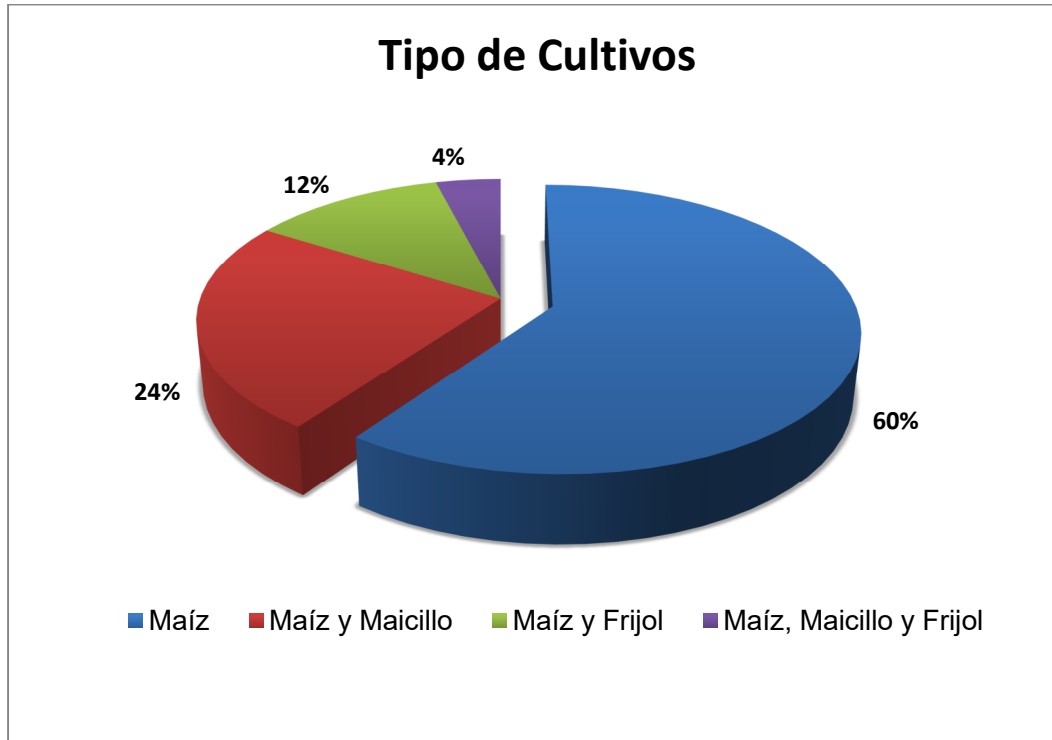


Gráfico 9.17: Tipo de cultivos que siembran las familias encuestadas.

Fuente: Elaboración propia.

9.3.14 Conocimientos de la Población sobre Energías Renovables

Aprovechando la encuesta, también se consultó a la población si tenían conocimiento sobre las energías renovables, de las cuales solo el 39% poseía algún conocimiento de dichas tecnologías.

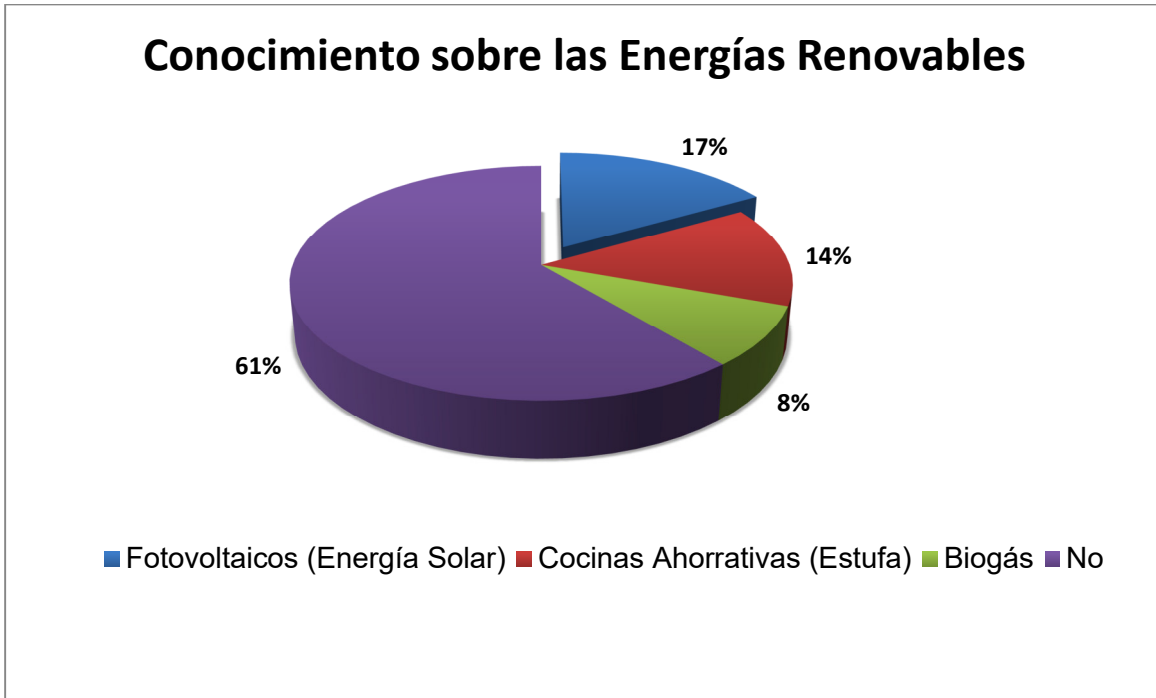


Gráfico 9.18: Tipo de cultivos que siembran las familias encuestadas.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera se consultó a las familias si deseaban aplicar una de las tecnologías descritas en este estudio y si deseaban aprender más sobre estas, a través de charlas informativas, de las 36 familias encuestadas, todas están interesadas en aprender y aplicar tecnologías de este tipo en sus hogares.

9.4 Visitas de Campo para observación directa sobre problemática local y condiciones de viviendas preseleccionadas

De los resultados obtenidos en las encuestas digitales, se procedió a la planificación de las visitas de campo en el municipio de Yucuaiquín, con el objeto de determinar las condiciones socioeconómicas y ambientales en que se encuentran las viviendas del grupo meta e identificar actores clave y personas que podían apoyar al proceso de identificación de viviendas modelo e interactuar con ellos.

A continuación se resumen las viviendas identificadas por Familia, Cantón y Caserío.

Tabla 9.3: Resumen de las viviendas con potencial para visita de campo.

Ítem No.	Identificación de la Familiar	Cantón	Caserío	Características de la Familia para implementación de ER en la zona
1	Familia Pérez – Arbaiza	Las Cruces	Las Cruces	- Sin Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Animales de Granja: gallinas
2	Familia Yanes	Las Cruces	Las Cruces	- Sin Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Sin animales de granja
3	Familia Pérez – Portillo	Ciricuario	El Carmen	- Sin Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Animales de Granja: gallinas
4	Familia Arbaiza	Las Cruces	El Chagüite	- Sin Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Animales de Granja: gallinas
5	Familia Pineda	Candelaria	Los Álvarez	- Con Energía Eléctrica - Cocina a Gas GLP - Animales de Granja: Vacas
6	Familia González	Candelaria	Las Cabañas	- Con Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Animales de Granja: Cerdos y Gallinas
7	Familia Flores	Las Marías	Las Marías	- Con Energía Eléctrica - Cocina a Leña y Gas GLP - Animales de Granja: vacas y Gallinas

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que las visitas de campo estuvieron restringidas por la Pandemia de Covid-19, ya que muchas familias encuestadas negaron el acceso a sus viviendas, en otros casos los accesos son remotos y no se contaba con ningún guía que conociera la

zona, por lo que no se logró contactar a las familias para realizar las visitas de campo requeridas. Finalmente solo realizaron 2 visitas de campo, y se visitaron las siguientes familias preseleccionadas:

9.4.1 Familia sin acceso a energía eléctrica y con estufa de fuego abierto a base de leña

De las 4 familias que no tienen acceso a energía eléctrica, identificadas a través de la encuesta digital realizada en el municipio, descritas en los Ítem No. 1 al 4 de la Tabla 9.3, solo se visitó una familia, debido a que no se logró contactar a las 3 familias restantes, la cual permitió el acceso a su vivienda para realizar la inspección técnica requerida para el levantamiento de información que se describe a continuación:

a) Descripción del grupo familiar Pérez Portillo de vivienda visitada

La familia Pérez-Portillo consta de 4 personas (3 adultos y 1 adolescente), la actividad principal de la familia es de tipo agrícola, en la propiedad se cultiva maíz, maicillo y frijol, también poseen animales domésticos como gallinas.

b) Descripción de las condiciones socioeconómicas y ambientales de la familia Pérez Portillo visitada

Ubicación, condiciones de infraestructura y servicios

La vivienda se encuentra ubicada en el Cantón Ciricuario, Caserío El Carmen, Barrio El Calvario, pertenece a la familia Pérez-Portillo, la estructura de la vivienda es de paredes de bajareque amarrado con lazo, piso de tierra y techo de lámina con tejas, no cuenta con servicios de agua potable ni servicios sanitarios básicos como letrinas aboneras o fosas sépticas, el tipo de tierra del terreno es arcilloso.



Figura 9.3: Vivienda identificado que no cuenta con energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9.4: Tipo de techo y paredes de la vivienda que no cuenta con acceso a energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Fuente de agua

El agua para consumo se extrae de un pozo cercano que es de uso de la comunidad, la cual es hervida para su consumo, y el agua para las actividades domésticas la obtienen de 2 tanques cosechadores de agua lluvia de 6,000 litros cada uno, instalados a través de proyectos desarrollados por la Alcaldía. En la Figura 9.4, se muestran dichos tanques.



Figura 9.5: Tanques cosechadores de agua lluvia de 6000 litros cada uno.

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los miembros de la familia se encuentra una adolescente, la cual se cursa sus estudios de educación media y debido a la Pandemia por Covid-19, se vio obligada a recibir sus clases mediante un teléfono celular, el cual lo carga mediante el uso de un panel fotovoltaico que fue adquirida con fondos propios de la familia, la cual se muestra en la Figura 9.6.



Figura 9.6: Tipo de panel fotovoltaico utilizado para cargar celulares.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible y estufa utilizada para cocción de alimentos

Debido a que esta vivienda dispone de cocina a base de gas GLP y cocina de leña de fogón tradicional a fuego abierto, se consideró adecuada para incluir también el estudio y diseño de estufa eficiente de leña a fin de evaluar ambos impactos: el uso de panel fotovoltaico para suministro de energía eléctrica y el uso de la estufa eficiente de leña.

Esta vivienda no tenía condiciones para evaluar el diseño y uso de un biodigestor para producción de biogás y bioabono, debido a que no cuenta con animales domésticos que son adecuados para la producción de biogás.

A continuación se presentan fotografías de las cocinas que posee esta familia.



Figura 9.7: Cocina de gas GLP y cocina de leña de fogón tradicional que utiliza la familia para la cocción de alimento.

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de gas GLP de la familia es aproximadamente un cilindro de 25 lb en 1 mes, y el consumo de leña es aproximadamente 26 libras al día (780 libras al mes), la leña que utilizan para la cocinar es extraída de la propiedad, la cual no genera un costo para la familia, solo en el tiempo que conlleva su recolección, la recolección de leña se muestra en la siguiente figura.

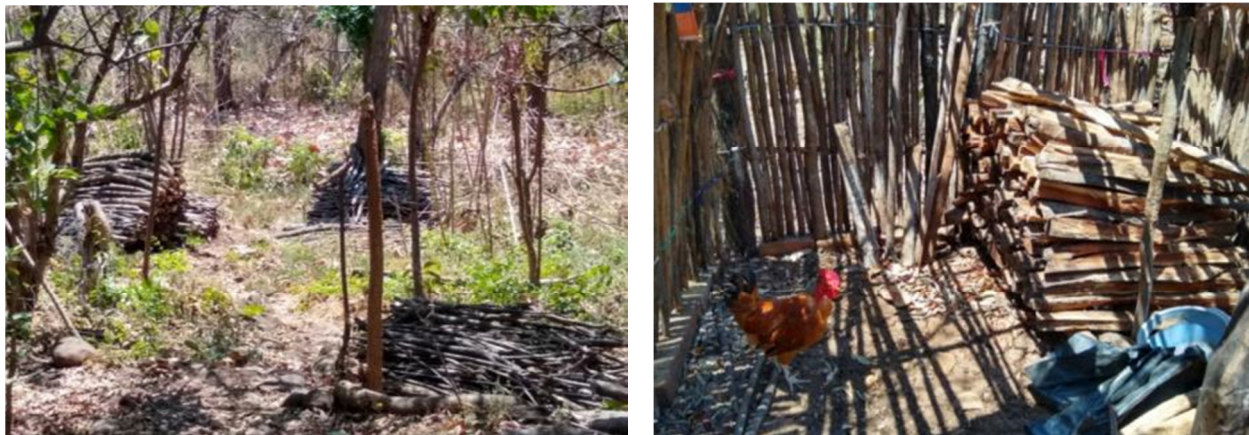


Figura 9.8: Extracción de leña en el terreno para la cocción de alimentos.

Fuente: Elaboración propia.

9.4.2 Familia con disponibilidad de materia prima para generación de biogás y estufa a base de biogás

Debido a que la familia evaluada anteriormente no cuenta con animales de granja que tengan el potencial para la generación de biogás a través del estiércol de estos, se evaluaron otras familias que cuentan con animales de granja como cerdos y vacas, de las 3 familias que tienen animales de granja, identificadas a través de la encuesta digital realizada en el municipio y descritas en los Ítem No. 5 al 7 de la Tabla 9.3, solo se logró visitar a una familia, debido a que no se logró contactar a las 2 familias restantes, la cual permitió el acceso a su vivienda para realizar la inspección técnica requerida para el levantamiento de información, y se describe a continuación:

a) Descripción del grupo familiar Pineda de vivienda visitada

La familia Pineda consta de 4 personas (2 adultos y 2 niños), la actividad principal de la familia es de tipo agrícola y ganadera, en la propiedad se cultiva maíz y maicillo, también poseen animales de granja como gallinas y vacas.

b) Descripción de las condiciones socioeconómicas y ambientales de la familia Pineda visitada

Ubicación, condiciones de infraestructura y servicios

La vivienda se encuentra ubicada en el Cantón Candalaria, Caserío Los Álvarez, Barrio La Cruz, la estructura de la vivienda es de paredes de bloque de cemento, piso de ladrillo y techo de lámina con teja. La vivienda tiene electricidad y cuenta con pozo propio para el abastecimiento de agua y servicios sanitarios básicos con fosa séptica, el tipo de tierra del terreno es arcillo.

Fuente de agua

El agua para consumo se extrae de pozo propio cercano a la vivienda, la cual es hervida para el consumo y el resto (no hervida) para las actividades domésticas y crianza de los animales de granja.

En la siguiente figura se muestra la infraestructura de la vivienda seleccionada:



Figura 9.9: Infraestructura de la vivienda que cuenta con potencial para la generación de biogás.

Fuente: Elaboración propia.

Disponibilidad de ganado

La familia dispone de 7 cabezas de ganado, las cuales se pastorean en el terreno a lo largo del día y son tabuladas en la noche junto a la vivienda, la actividad económica principal es la venta de leche de vaca.



Figura 9.10: Pastoreo de vacas en el terreno de la familia.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la noche la vacas son tabulas cerca de la vivienda, lo que representa una ventaja a la hora de obtener el estiércol para alimentar el biodigestor propuesto, en la siguiente figura se muestra el área donde se tabula el ganado.



Figura 9.11: Área donde se tabulan las vacas de noche, al costado oriente de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo de combustible y estufa utilizada para cocción de alimentos

La familia Pineda solo dispone de una cocina a base de gas GLP, por lo que se considera adecuado incluir también el diseño de estufa a base de biogás, con el fin de sustituir o disminuir el consumo de gas GLP, que represente un ahorro para la familia, así como también impulsar otras actividades como la elaboración de productos lácteos.

A continuación se presentan el tipo de cocina que posee la familia Pineda.



Figura 9.12: Cocina de gas GLP que utiliza la familia para la cocción de alimento.

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de gas GLP de la familia es aproximadamente un cilindro de 25 lb al mes, por lo que se planteará el ahorro que se obtendría con una cocina a base de biogás.

9.5 Conclusión de la vivienda modelo seleccionada

El objetivo inicial consistía en encontrar una vivienda modelo para implementar las tecnologías propuestas, sin embargo, en el desarrollo de las encuestas y visitas de campo en el municipio de Yucuaiquín, no se logró identificar una vivienda que cumpliera con todas las características necesarias para la implementación de las tecnologías, por lo que finalmente se opta por incluir a dos viviendas para los diseños propuestos, lo que se resume a continuación:

Tabla 9.4: Resumen de viviendas seleccionadas.

No.	Identificación de la Familiar	Cantón	Caserío	Diseño a implementar en la vivienda
1	Familia Pérez – Arbaiza	Ciricuario	El Carmen	- Diseño Fotovoltaico Aislado - Estufa Eficiente a Leña
2	Familia Pineda	Candelaria	Los Álvarez	- Diseño de Biodigestor Domiciliar - Estufa a Base de Biogás.

Fuente: Elaboración propia.

10 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN VIVIENDA MODELO

10.1 Criterios de selección

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son aquellas que generan electricidad de forma autónoma, sin conexión a red, y que están provistas de sistemas de acumulación como lo son las baterías y regulación para poder cubrir en todo momento la demanda. Estas instalaciones son de poca potencia, normalmente de entre 2 y 10 kWp, y son especialmente útiles en zonas rurales y lugares remotos con escaso desarrollo de las redes eléctricas, aunque últimamente su reducción en costos la está haciendo una alternativa atractiva para todo tipo de clientes. Un esquema de este tipo de instalaciones se muestra a continuación.

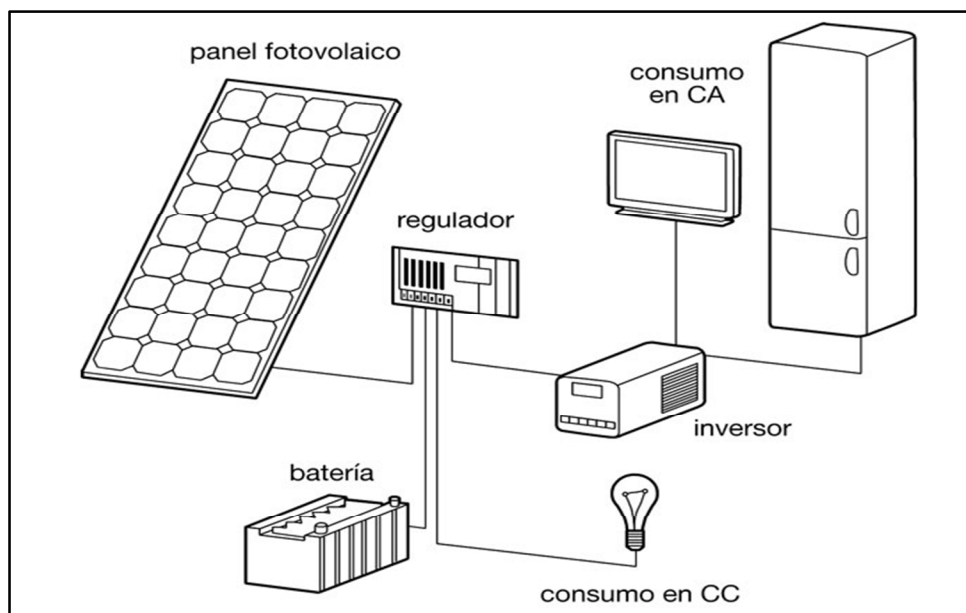


Figura 10.1: Esquema de sistema fotovoltaico aislado.

Fuente: Elaboración propia.

El consumo de la mayoría de equipos electrodomésticos son en corriente alterna (C.A.), solo las luminarias son en corriente continua (C.C.) como se muestra en la Figura 10.1. Es por ello, que es necesario introducir un sistema de adaptación de corriente o inversor que transforme la electricidad generada por los módulos en C.C. a C.A.

El método a seguir para el dimensionamiento de una instalación aislada tiene que ver con el hecho de que no está conectada a la red, por lo que cualquier fallo del sistema puede ser fatal para el consumidor, debido a un corto circuito o una descarga eléctrica

puede provocar un incendio en la vivienda, y más en el tipo de vivienda que se está analizando que es a base de madera (bajareque).

Por tanto, necesitamos asegurar que los posibles fallos afecten lo mínimo posible y que la instalación sea fiable. La garantía de suministro es más importante que el maximizar la captación energética a lo largo de un año (como ocurre en instalaciones conectadas a red).

Siguiendo esta filosofía, se usa la técnica del *peor mes* o mes más desfavorable de un año. Consiste en elegir de entre los meses en los que haya consumo eléctrico, el mes con el mayor cociente entre consumo y radiación global horizontal G_{dm} (0). Si se hace la aproximación de considerar el consumo constante, el peor mes será aquel en el que haya menor radiación.

De este modo, se pueden distinguir 5 pasos para realizar el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica aislada:

1. Estimación del consumo medio de energía al día de la familia rural.
2. Estimación del valor medio mensual de irradiación diaria sobre el plano del generador.
3. Cálculo de la potencia mínima del generador fotovoltaico para cubrir la demanda.
4. Dimensionado de número de paneles en serie y en paralelo.
5. Elección del tamaño del acumulador, del regulador de carga, y del inversor.

Referencia Bibliográfica

La metodología descrita anteriormente se obtuvo del Ejercicio de Dimensionamiento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas Aisladas, del Master en Energías Renovables en Sistemas Eléctricos, Curso 2018-2019, impartida en la Universidad de Carlos III Madrid, España.

10.2 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico Aislado

Se pretende electrificar una vivienda rural aislada situada en el municipio de Yucuaiquín, del departamento de La Unión, localizada en las coordenadas (latitud, longitud) = (13.5321; -87.9969).

La instalación fotovoltaica autónoma empleada para lograr dicho objetivo se usará a lo largo de todo el año. Debido a la fragilidad del techo de la vivienda seleccionada (Como se muestra en el Capítulo 9), se diseñara una estructura metálica de soporte junto a la vivienda la cual estará orientada al Sur, Azimut = 0° e Inclinación = 14° (Latitud del lugar).



Figura 10.2: Estructura tipo poste para la instalación de paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración propia.

Otras condiciones técnicas a valorar para la instalación son las siguientes:

- Las tensiones del regulador se ajustan de forma que la profundidad de descarga máxima sea del 70%.
- La eficiencia energética del inversor se puede estimar inicialmente en un 85% y la del regulador + acumulador de un 80%.
- El factor de sombra corresponde a una sombra con árboles en los alrededores, por lo que se asignará un factor de sombra del 5% a lo largo del año.
- Se requiere que el sistema tenga la autonomía mínima estipulada en la Propuesta de Norma Técnica de Diseño, Seguridad y Operación de Instalaciones de Generación de Energía con Tecnología Solar Fotovoltaica de Hasta 100 Kw (Referencia Tesis MERMA-UES 2018).

En primer lugar, comenzaremos estimando el consumo medio diario (todo en Corriente Alterna C.A.) en la vivienda, que se recoge en la siguiente tabla. Los datos necesarios para estimar este consumo son la potencia unitaria de cada carga y las horas de funcionamiento aproximadas de cada una de ellas. De este modo, obtenemos el consumo energético de cada carga (Wh/día) sin más que multiplicar ambas cantidades.

Tabla 10.1: Demanda de energía eléctrica de la vivienda seleccionada.

Equipo	Número de elementos	Potencia (Watts)	No. Horas al día	Watts / día
Iluminación	5	20	5	500
Televisión	1	115	4	460
Refrigeradora Pequeña	1	150	6	900
Laptop	1	100	3	300
Celular	2	5	2	20
Autoconsumo	Regulador + Inversor	475	---	177.67
Consumo Total (ED)				2,357.67

Fuente: Elaboración propia.

Nota:

La identificación de la demanda de la vivienda se estableció a partir de visitas de campo e inspección en la vivienda seleccionada, así como una encuesta a la familia propietaria, a fin de identificar sus necesidades de energía eléctrica, tal y como se muestra en el Capítulo 9.

Para el cálculo del consumo diario total, además de la demanda propia de la vivienda, se ha tenido en cuenta el **autoconsumo** debido al regulador y al inversor, se fija las pérdidas por autoconsumo del regulador en un 3% del consumo diario de energía (2,180 Wh/día), y las del inversor en un 5% del conjunto del consumo diario de energía más el autoconsumo del regulador (2,245.4 Wh/día).

$$E_{reg} = 0.03 \times 2,180 \frac{Wh}{día} = 65.40 \frac{Wh}{día}$$

$$E_{Inv} = 0.05 \times 2,245.40 \frac{Wh}{día} = 112.27 \frac{Wh}{día}$$

Teniendo todo lo anterior y suponiendo un consumo constante todo el año, se llega a que la vivienda en análisis tiene un consumo diario total de:

$$E_D = 2,357.67 \frac{Wh}{día} = 2.36 \frac{kWh}{día}$$

Esta demanda tendrá que ser cubierta por el generador fotovoltaico, pero el paso previo es saber con qué recurso solar contará nuestro generador. Para ello, buscamos los datos de radiación solar global en el municipio de Yucuaiquín utilizando la aplicación gratuita PVGIS (“Monthly radiation”, Climate-SAF).

En el siguiente cuadro se muestran los valores medios mensuales de radiación global horizontal ($\beta = 0^\circ$), radiación global con los paneles inclinados un ángulo óptimo ($\beta = \beta_{opt}$), y el ángulo de inclinación óptimo para cada mes. Todos estos datos suponen una orientación óptima hacia el sur, Azimut ($\alpha = 0^\circ$), característica del hemisferio norte.

Tabla 10.2: Datos de radiación solar en el municipio de Yucuaiquín.

Mes	H Optimo (kW/m ² /mes)	H Horizontal (kW/m ² /mes)	Angulo de Inclinación Óptimo (°)
Enero	218.09	182.71	75.00
Febrero	206.42	183.91	60.00
Marzo	224.24	215.83	30.00
Abril	193.90	199.70	15.00
Mayo	176.48	189.42	10.00
Junio	163.02	179.26	5.00
Julio	180.98	198.36	5.00
Agosto	186.19	196.05	10.00
Septiembre	173.46	172.96	20.00
Octubre	181.83	169.85	50.00
Noviembre	195.38	168.87	75.00
Diciembre	208.27	171.93	80.00

Fuente: PVGIS (“Monthly radiation”, Climate-SAF).

Del análisis del cuadro anterior, observamos que el mes con menor irradiación global horizontal es noviembre ($G_{dm}(0) = 168.87$ kWh/día). Por tanto, siguiendo la metodología descrita inicialmente, tomaremos como referencia de peor mes, noviembre. Así, garantizamos el suministro incluso en el mes más desfavorable y aumentamos la fiabilidad de la instalación

Para el mes de noviembre, el ángulo óptimo de inclinación y la irradiación en dicho mes con dicha inclinación son las siguientes:

$$\beta_{opt} = 75^\circ$$

$$G_{dm}(0, \beta_{opt}) = 195.38 \frac{KWh}{mes} = 6.51 \frac{kWh}{día}$$

Este valor de ángulo óptimo es coherente con el hecho de que en a finales del año los rayos solares llegan más oblicuos que a mediados del año. Para corregir esta oblicuidad, es conveniente inclinar los paneles de forma que la superficie de captación esté lo más perpendicular posible a la radiación, optimizando así la producción de energía.

A la hora del diseño, sabemos que la orientación e inclinación de los paneles va a estar fijada por una estructura metálica junto a la vivienda (α, β) = (0°, 14°). Para calcular la radiación incidente con estos parámetros usaremos la siguiente fórmula, donde FI es el factor de irradiación y FS es el factor de sombras.



Figura 10.1: Sitio donde se instalarán los paneles fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración Propia

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0, \beta_{opt}) \times FI \times FS \quad (10.1)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 10.1, se tiene que:

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5} \alpha^2]$$

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(14 - 75)^2 + 3.5 \times 10^{-5} 0^2]$$

$$FI = 0.5535$$

Tras operar en las condiciones de trabajo, se obtiene un factor de irradiación $FI = 0.4773$. Además, como conocemos que la sombra a los largo del año de un 5% aproximadamente, el factor de sombra es $FS = 0.95$. Con todos estos resultados podemos estimar el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador.

$$G_{dm}(0,14^{\circ}) = 6.51 \times 0.5535 \times 0.95 = 3.42 \frac{kWh}{día}$$

Ahora, estamos en condiciones de calcular la **potencia pico mínima del generador** para satisfacer el consumo diario en condiciones estándar de medida (CEM) a través de la siguiente ecuación:

$$P_{mp,min} = \frac{E_D \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} \quad (10.2)$$

Sustituyendo los valores se tiene:

$$P_{mp,min} = \frac{E_D \times G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \times PR} = \frac{2.36 \frac{kWh}{día}}{(3.42 \frac{kWh}{día})(0.6)} = 1.15 kWp$$

10.3 Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico

En este momento, estamos en condiciones de pasar a calcular el dimensionamiento del generador fotovoltaico, es decir, cuántas ramas de módulos tendremos en serie y cuántas en paralelo.

Para este diseño se parte del uso de los módulos fotovoltaicos de fabricación china Yangtze Solar Modelo YS360M-72 Monocristalino de 72 celdas, cuyos parámetros en CEM son los siguientes:

- Potencia máxima (P_p) = 360 Wp
- Voltaje máxima potencia (V_{mp}) = 39.5 Vmp
- Voltaje corto circuito (V_{ac}) = 48.0 Vac
- Corriente máxima potencia (I_{mp}) = 9.12 A
- Corriente corto circuito (I_{ac}) = 9.51 A

Dimensiones:

- Alto = 195.6 cm
- Ancho = 99.2 cm
- Espesor = 4 cm

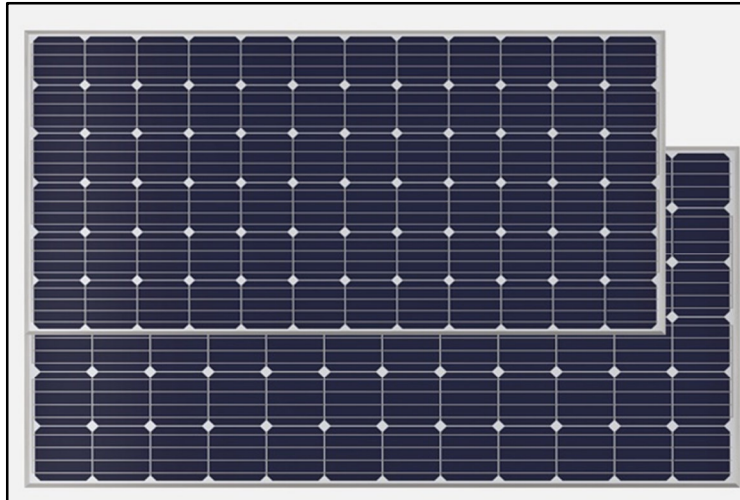


Figura 10.3: Paneles fotovoltaicos monocristalinos de 72 celdas.

Fuente: Catálogo Yangtze Solar (www.yangtze-solar.com)

Debido a que el sistema ha de trabajar en el entorno de potencia de los 2.36 kW, la tensión en corriente continua (C.C.) adecuada para el sistema del acumulador y regulador será de:

$$V_{NOM} = 24 V$$

Sabiendo la tensión nominal a la que ha de operar nuestro sistema, podemos fijar el número de módulos en serie necesarios comparando con la tensión de máxima potencia de nuestros módulos.

$$N_s = \frac{V_{NOM}}{V_{mp}} = \frac{24 V}{39.5 V} = 0.61 \rightarrow \mathbf{1 \text{ m\u00f3dulo en serie}}$$

Una vez impuesta esta condici\u00f3n dada por la tensi\u00f3n, calculamos el n\u00famero de m\u00f3dulos en paralelo del siguiente modo.

$$N_p = \frac{P_{mp,min}}{N_s \times P_p} = \frac{1,150}{1 \times 360} = 3.19 \rightarrow \mathbf{4 \text{ m\u00f3dulos en paralelo}}$$

Por tanto, nuestro generador fotovoltaico estar\u00e1 compuesto por 4 m\u00f3dulos en una distribuci\u00f3n 1x4, con un m\u00f3dulo en serie y 4 ramas en paralelo, tal y como se muestra en la siguiente figura. Se han tenido en cuenta las dimensiones del m\u00f3dulo (195.6x99.2 cm), para estimar la superficie que ocupar\u00eda el generador fotovoltaico.

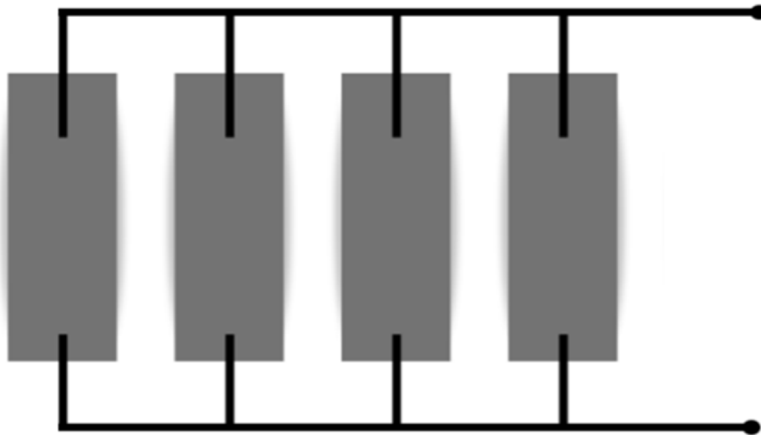


Figura 10.4: Conexi\u00f3n de paneles fotovoltaicos en paralelo.

Fuente: Elaboraci\u00f3n propia.

Realizamos ahora la comprobaci\u00f3n de la potencia que nos est\u00e1 generando este dimensionado de m\u00f3dulos y si concuerda con la potencia requerida en base a la Norma T\u00e9cnica que se utiliza como referencia, la generaci\u00f3n no debe superar en m\u00e1s de un 20% a la potencia m\u00ednima que satisface las necesidades. De este modo, se evitan sobredimensionamientos en este tipo de instalaciones.

$$P_{mp} = 1 \times 4 \times 360 = 1,440 \text{ Wp} < 1.2 \times P_{mp,min} = 1.2 \times 1,150 = 1,380 \text{ Wp}$$

10.4 Dimensionamiento de las baterías solares (acumulador)

Una vez comprobado que cumplimos con este requerimiento, continuamos con el cálculo de las baterías solares necesarias para nuestra instalación fotovoltaica. Partimos de los siguientes parámetros típicos en instalación fotovoltaica aislada de una vivienda.

- Autonomía $A = 1$ día
- Profundidad de descarga máxima permitida por el regulador $PD_{m\acute{a}x} = 0.70$
- Rendimiento energético del inversor $\eta_{inv} = 0.85$
- Rendimiento energético del regular – acumulador $\eta_{rb} = 0.80$

Por otro lado, el consumo diario de la carga en magnitudes de Ah se calcula del siguiente modo.

$$L_D = \frac{E_D}{V_{NOM}} = \frac{2,357.67 \text{ Wh/día}}{24 \text{ V}} = 98.24 \frac{\text{Ah}}{\text{día}}$$

Con todos estos datos, estamos en disposición de calcular la capacidad teórica de la batería, que posteriormente elegiremos por catálogo. En fotovoltaica aislada, es usual dar este dato a 20 horas, es decir, la capacidad mide la cantidad de carga que se va a poder extraer de la batería en 20 horas.

$$C_{20} = \frac{A \times L_D}{PD_{M\acute{a}x} \times \eta_{inv} \times \eta_{rb}} = \frac{1 \text{ día} \times 98.24 \text{ Ah/día}}{0.7 \times 0.85 \times 0.80} = 206.38 \text{ Ah}$$

Como requerimiento de dimensionado, se establece que la capacidad nominal de la batería sea menor que 25 veces la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico. En nuestro caso, queda comprobado que se cumple.

$$C_{20} = 206.38 \text{ Ah} < 25 \times N_p \times I_{cc} = 25 \times 4 \times 9.51 \text{ A} = 951 \text{ A}$$

En estos momentos, es hora de seleccionar la batería que mejor se adapte a nuestro sistema. Para ello, recurrimos a las baterías que se disponen en el mercado para aplicaciones fotovoltaicas, por lo que se selecciona la batería del fabricante NationWide Battery, modelo US 1800 XC2, 6V y 208 Ah. Se trata de una batería de electrolito líquido, ácido - plomo, ideal para consumos diarios y perfecta en instalaciones fotovoltaicas debido a su ciclo profundo.

Además, presenta una gran relación calidad-precio. Su única desventaja es que debe ser comprobado periódicamente que sus niveles internos de ácido sulfúrico estén dentro de los márgenes correctos para que los bornes no se sulfaten.

En cuanto a sus características técnicas, cabe destacar que se trata de una conexión de banco de 4 baterías de 6V en serie, tal y como se muestra en la Figura 2. La conexión en serie de baterías permite sumar la tensión nominal de las baterías individuales, manteniendo la misma capacidad. De este modo logramos alcanzar los 24 V que requiere nuestro sistema.

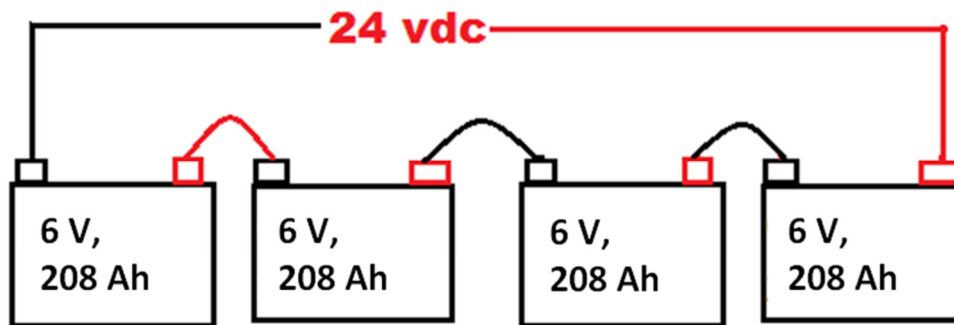


Figura 10.5: Conexión de 4 baterías en serie.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la capacidad de la batería o energía que ésta es capaz de almacenar, el fabricante U.S. Battery presenta los datos en un régimen de descarga de 100 horas (231 Ah). Sin embargo, para nuestros intereses necesitamos obtener ese dato en un régimen de descarga menor, de 20 horas.



Figura 10.6: Batería de ciclo profundo para aplicaciones fotovoltaicas.

Fuente: Catálogo NationWide Battery (www.NATIONWIDE-BATTERY.com)

10.5 Dimensionamiento del Controlador de Carga

El siguiente elemento que debemos seleccionar es un regulador de carga, que se encarga de controlar la carga y descarga de la batería dentro de la instalación solar. El regulador permite el proceso de carga de la batería desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global. Será seleccionado de forma que sea capaz de resistir sin daño una sobrecarga simultánea de:

- Corriente en la línea de generador: un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico.

$$I_G = N_P \times I_{CC} = 4 \times 9.51 \text{ A} = 38.04 \text{ A}$$

- Corriente en la línea de consumo: un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo.

$$I_{CONS} = \frac{P_D}{110 \text{ V}} = \frac{475 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 4.32 \text{ A}$$

Al ser la corriente en la línea de generador mayor que la de la línea de consumo, nuestro regulador deberá soportar una corriente máxima de **47.55 A**, una vez aplicado el margen de seguridad del 25%.

Para nuestra instalación fotovoltaica aislada de baja potencia, elegiremos un regulador de carga MPPT (Controlador del punto de máxima potencia), debido a que los paneles fotovoltaicos que se utilizarán constan de 72 celdas cada uno, por lo que es más conveniente utilizar un controlador de carga con estas características.

- **Rekoser Modelo RSC1248-60**: Controlador de Carga MPPT 60 A y una tensión nominal de 24 V.



Figura 10.7: Controlador de Carga MPPT.

Fuente: Catálogo Rekoser (www.rekoser.com)

10.6 Dimensionamiento del Inversor

Por último, debemos seleccionar un inversor que transforme la corriente continua C.C. que genera la instalación solar en corriente alterna C.A. a 110 V – 50/60 Hz. El método habitual para elegir inversor consiste en:

- Multiplicar la potencia demandada por nuestro consumo por un factor de seguridad de 1.3 que tenga en cuenta las variaciones de temperatura y corriente en el arranque.

$$P_{inv} = 1.3 \times P_D = 1.3 \times 475 \text{ W} = 617.50 \text{ W}$$

- Fijar la tensión de entrada en función de la tensión nominal de la batería.

$$V_{inv} = V_{NOM} = 24 \text{ V}$$

Con estos parámetros de dimensionamiento, encontramos en catálogo el inversor que se encuentra disponible en el mercado.

- **Power Express:** Inversor de corriente de 1000/2000 vatios, 24 V DC a 110/120 V AC.

$$P_{AC} = 1000 \text{ W}$$

$$V_{DC \text{ máx}} = 24 \text{ V (Rango de Operación 22-30V)}$$

$$I_{DC \text{ máx}} = 41.66 \text{ A}$$

$$I_{AC \text{ máx}} = 9.09 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta la corriente de generación ($I_G = 38.04 \text{ A}$) y la corriente de consumo ($I_{CONS} = 4.32 \text{ A}$), este inversor se ajusta perfectamente a dimensionamiento propuesto.



Figura 10.8: Inversor de 1000 Watts de potencia.

Fuente: Catálogo Ingeniería Solar (www.ingenieriasolar.com)

10.7 Detalle del sistema fotovoltaico aislado y sus Componente Principales

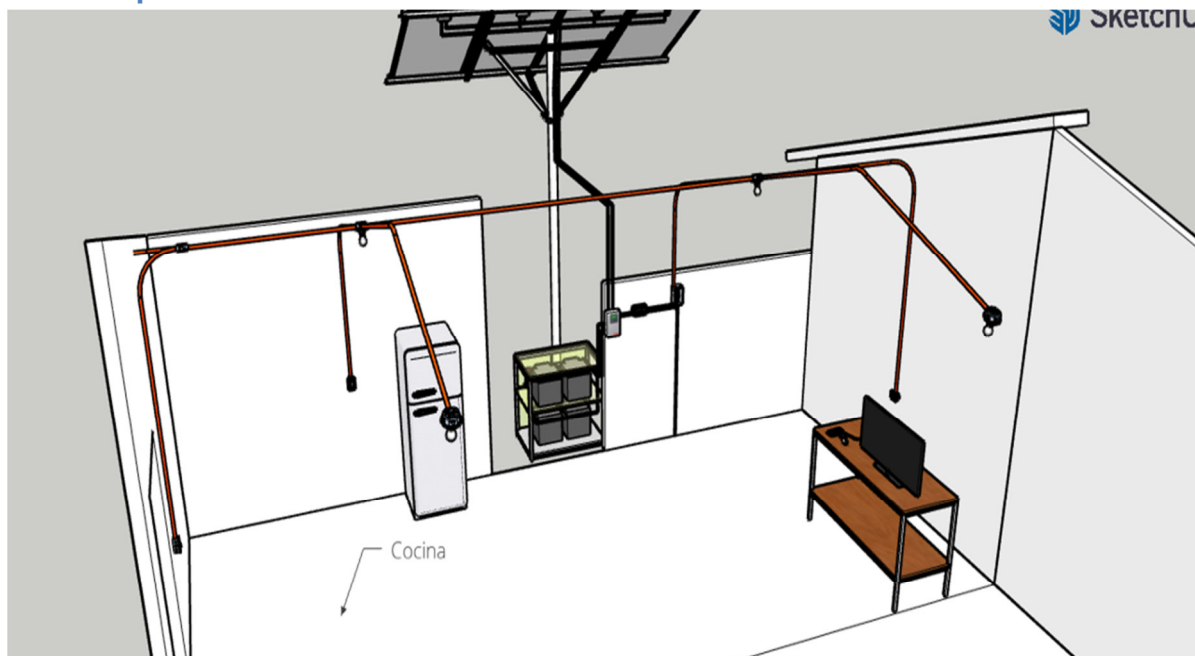


Figura 10.9: Esquema de distribución del sistema fotovoltaico aislado.
Fuente: Elaboración Propia.

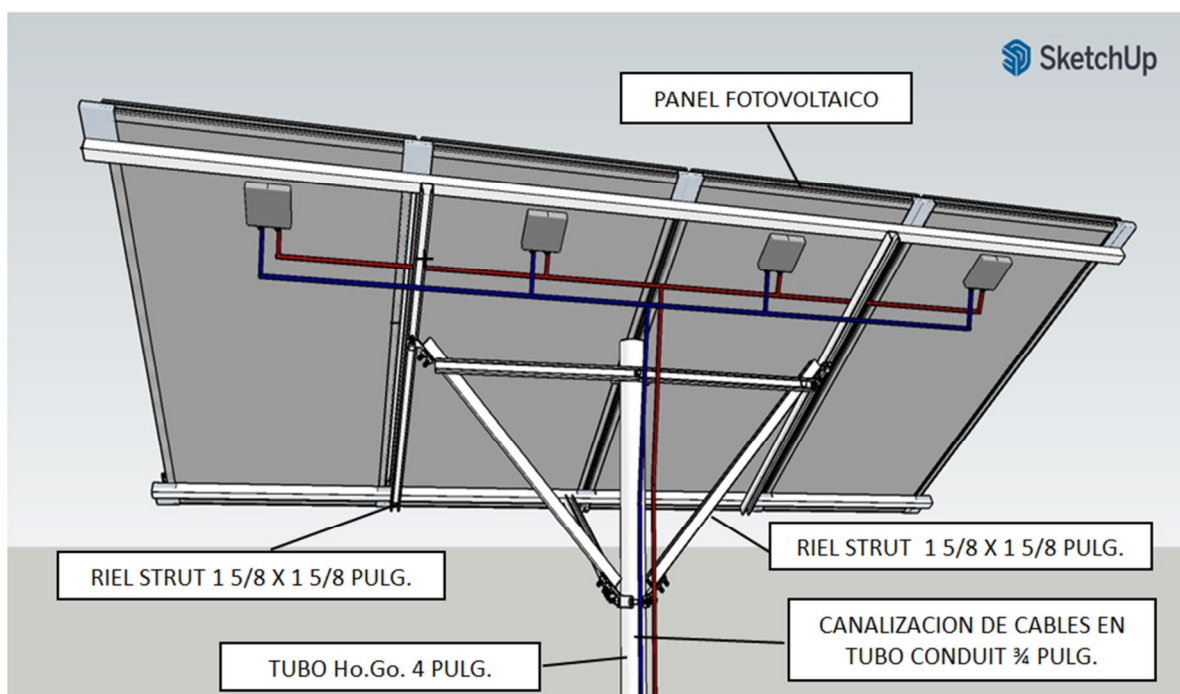


Figura 10.10: Diagrama de conexión de fotoceldas.
Fuente: Elaboración Propia.

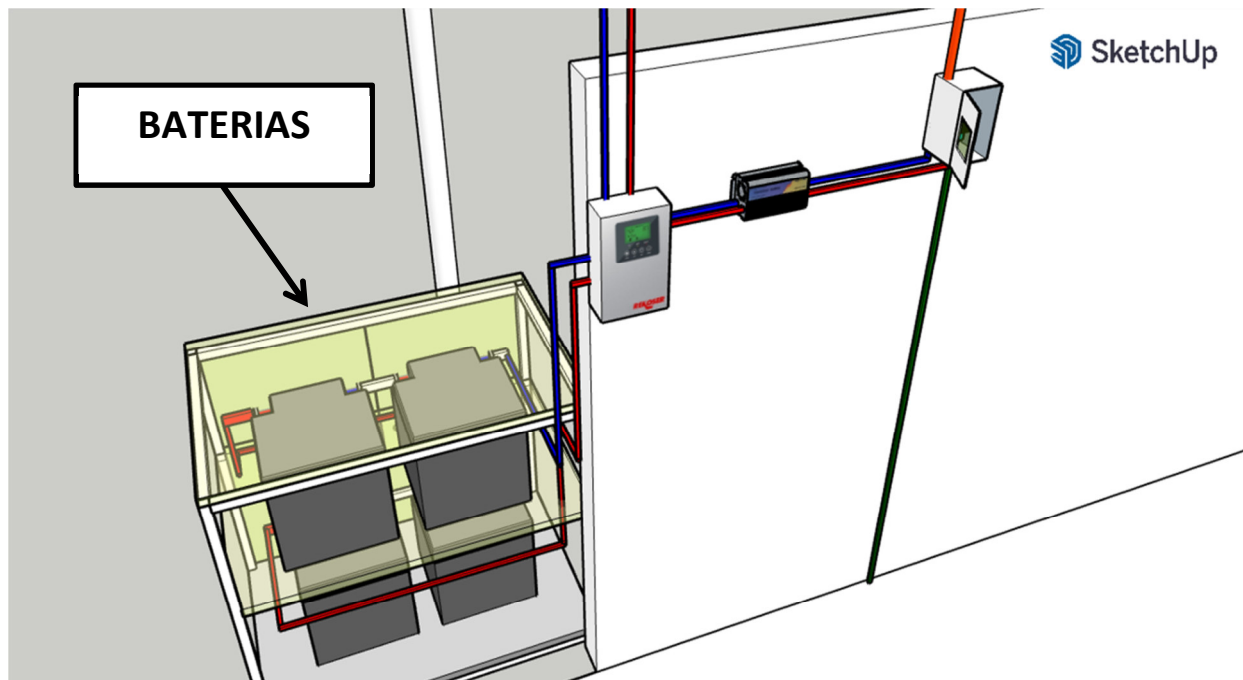


Figura 10.11: Diagrama de instalación de equipos.
Fuente: Elaboración Propia.

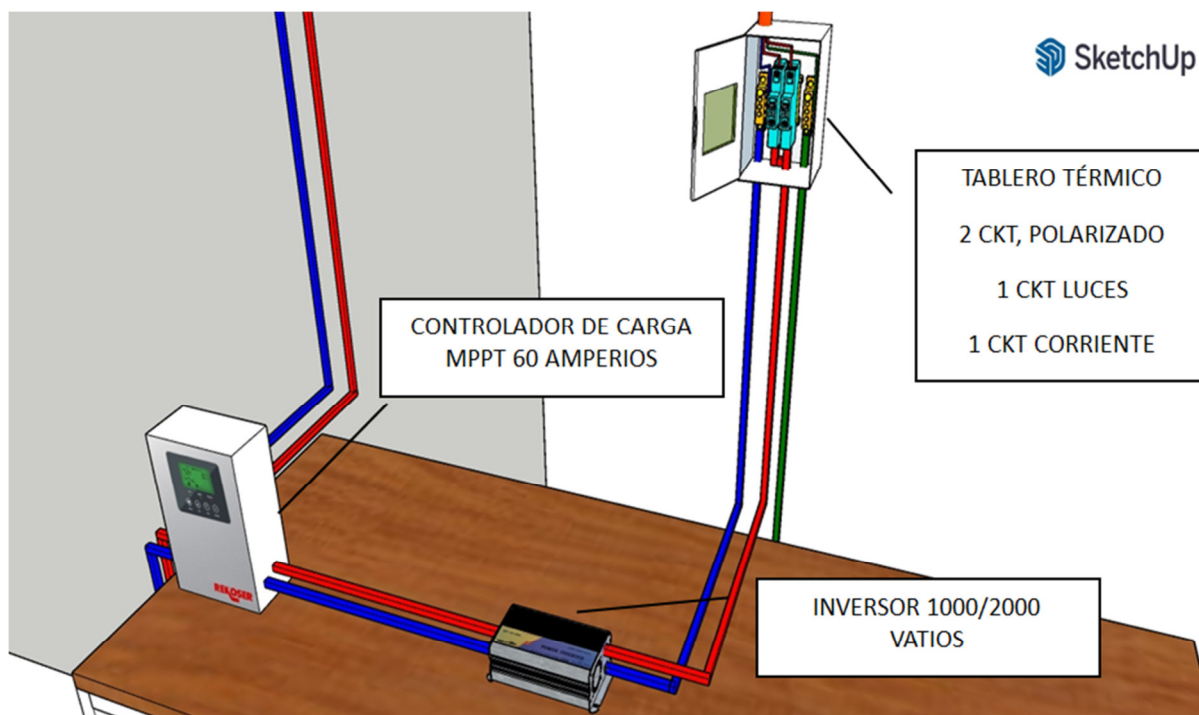


Figura 10.12: Tablero térmico de dos circuitos polarizados.
Fuente: Elaboración Propia.

11 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VIVIENDA MODELO

11.1 Criterios de selección

En esta investigación se seleccionó el biodigestor modelo taiwanés (tubular de bajo costo) descrito en sección 7.3.2 Biodigestores Domésticos, en esta sección se mencionó como principales ventajas su bajo costo y facilidad en su manejo e instalación. Su instalación no presenta dificultades técnicas y puede ser realizada autónomamente por dos personas en dos o tres días, sin necesidad de un asesoramiento técnico directo y con la utilización de herramientas comunes; lo que además permite la difusión de este modelo mediante la capacitación de persona a persona.

Aunque su principal desventaja radica en su vida útil relativamente corta, los problemas técnicos en biodigestores de plástico se pueden resolver más fácilmente que en biodigestores construidos con otro material como concreto o acero. Para un volumen líquido determinado, un digestor no horizontal (como el modelo chino o hindú), debido a la cercanía entre la entrada y la salida, el desecho agregado puede salir fácilmente del digestor sin ser completamente degradado por las bacterias. En cambio, en un digestor horizontal, debido al movimiento en flujo pistón, el sustrato pasa a través de una zona de máxima digestión en su camino desde la entrada hasta la salida, sin que alguna parte de la mezcla experimente grandes diferencias en su tiempo de retención con respecto a otra. Esto evita el denominado cortocircuito del residuo entre la entrada y la salida. Además, en el caso de que la alimentación contenga alguna sustancia tóxica, la difusión de ésta será menor y por tanto también su efecto inhibitorio en la totalidad de la mezcla.

11.2 Cálculo de cantidad de materia prima disponible

El diseño propuesto se basa en la disponibilidad de estiércol de ganado vacuno, el cual deberá ser recolectado diariamente por la familia sin que esto suponga una carga de trabajo mayor a la realizada anteriormente para el manejo y disposición final de estiércol o el realizado para recoger la leña como fuente de combustible.

De acuerdo a lo que se recomienda el autor Jaime Martí Herrero 2008, el biodigestor debe estar en un punto intermedio entre la cocina y el lugar donde duerme el ganado,

esto es para facilitar que la recolección de estiércol fresco cada mañana, a la vez que se ahorra en conducción de biogás al ser menor el recorrido.

Para estimar el volumen de estiércol se considerará la producción de estiércol de 7 vacas (cantidad máxima de ganado que dispone la familia Pineda, descrita en la sección 9.4.2), que se pastorean diariamente y son tabuladas en la noche en establo cerca de la vivienda, tomando como referencia los valores de la Tabla 11.1.

Tabla 11.1: Producción de estiércol fresco diario.

Origen del Estiércol	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 Kg de peso del animal
Bovino	8
Porcino	4
Caprino	4
Equino	7
Conejos	3
Humano Adulto	0.4 Kg por adulto
Humano Niño	0.2 Kg por niño

Fuente: Biodigestores familiares, Jaime Martí Herrero, 2008.

Tabla 11.2: Cantidad de estiércol producido por distintos animales y su rendimiento en biogás.

Especie	Peso Vivo (Kg)	Kg estiércol / día	Litros de CH ₄ / Kg SV	% CH ₄
Cerdos	50	4.5 – 6	340 – 550	65 – 70
Vacunos	400	25 – 40	90 – 310	65
Equinos	450	12 – 16	200 – 300	65
Ovinos	45	2.5	90 – 310	63
Aves	1.5	0.006	310 – 620	60
Caprinos	40	1.5	110 – 290	---

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA Castelar.

Tomando la producción de estiércol fresco de la Tabla 11.1, y el peso vivo promedio de una vaca de la Tabla 11.2, se estima que la cantidad total de estiércol disponible es:

$$\text{Cantidad de estiércol} = (\text{Estiércol por cada 100 kg}) \times (\text{Cantidad de vacas}) \left(\frac{400}{100}\right)$$

$$\text{Cantidad de estiércol} = 8 \times 7 \times \left(\frac{400}{100}\right) = 224 \text{ kg de estiércol}$$

Al ser encerradas en un corral por la noche, la cantidad de estiércol que se puede recolectar en el establo es de aproximadamente el 25% del total producido a lo largo del día, por lo que el total de estiércol disponible será:

$$\text{Cantidad de estiércol disponible} = (224 \text{ kg}) \times 25\% = \mathbf{56 \text{ kilogramos}}$$

De esta manera se dispone de 56 kilogramos de estiércol fresco para ingresar al biodigestor diariamente.

11.3 Elección del % de Sólidos Totales y la cantidad de agua necesaria

En este punto se escogen las mezclas adecuadas de estiércol y agua, para garantizar la adecuada cantidad de sólidos totales (ST) dentro del biodigestor, lo que posteriormente nos permitirá encontrar el volumen adecuado de éste y su tiempo de retención hidráulico (TRH).

Como se puede apreciar en la Tabla 11.3, excretas de vaca sin orines, el contenido de sólidos volátiles (SV) está alrededor de 68% a 76% de los ST.

Tabla 11.3: Características físicas del estiércol animal.

Tipo de Estiércol	Sólidos Totales (%)	Sólidos Volátiles (%ST)	Sólidos Volátiles (%)
Estiércol de Vaca (mezcla con orin)	8 - 11	75 - 82	6 - 9
Estiércol de Vaca (sin orines)	25	68 - 76	17 - 19
Estiércol de cerdo	20 - 25	75 - 80	15 - 20
Purín de cerdo	7	75 - 86	5 - 6
Gallinaza	32 - 35	63 - 80	20 - 28

Fuente: Adaptado de Moncayo (2013).

Para la aplicación de la digestión anaeróbica es recomendable un nivel de sólidos totales entre un 8% y 12%, por lo que las excretas deben ser mezcladas con agua antes de llevarlas al biodigestor. Para determinar el volumen de agua necesario, por kg de materia, que se debe agregar a un sustrato con % ST_{sustrato} para obtener una mezcla

con un % ST_{deseado}, se puede emplear la siguiente ecuación, asumiendo la densidad del agua 1 kg/l:

$$\text{Litros de agua} = \frac{\%ST_{\text{sustrato}}}{\%ST_{\text{deseado}}} - 1 \quad (11.1)$$

Entonces:

$$\text{Litros de agua} = \frac{25\%}{8\%} - 1 = 2.15 = 2 \frac{\text{Litros de agua}}{\text{Kilogramo de estiércol}}$$

Por lo que se requiere una carga diaria de 1 kilogramo de estiércol de vaca, mezclado con 2 litros de agua para alimentar el biodigestor.

La carga diaria será:

56 kg de estiércol mezcladas en 112 litros de agua (proporción 1:2)

Carga diaria = 56 + 112 = 168 litros

11.4 Sólidos totales y concentración del afluente

En esta investigación, los valores elegidos de % de ST en la mezcla se encuentran alrededor del valor mínimo (8%) sugerido para digestores de flujo pistón. Esto debido a que el modelo taiwanés, sin agitación, se caracteriza por una alta retención de sólidos (Garfí et al., 2011; Lansing et al., 2008); por lo que, para evitar que la acumulación de sólidos en el fondo del digestor reduzca el TRH y por tanto, la producción de biogás, se recomienda usar bajas diluciones.

La concentración del afluente se define como la cantidad de SV por volumen de mezcla que se ingresa diariamente al digestor (g SV/l o kg SV/m³), y puede determinarse según el % ST de dicha mezcla. De esta manera, utilizando la ecuación 11.2, se puede determinar la concentración del afluente (C₀) por cada volumen de mezcla que contenga 1 kg de estiércol:

$$C_0 = \frac{\left(\frac{\%ST}{100}\right) \left(\% \text{ SV de } \frac{ST}{100}\right) (1000 \text{ gr})}{L_{\text{estiercol}} + L_{\text{agua}}} \quad (11.2)$$

Tomando como la densidad del estiércol de vaca igual a 0.95 kg/L, se tiene un volumen aproximado de (tomando como base 1kg de estiércol):

$$V_{\text{estiércol}} = \frac{1 \text{ kg}}{0.95 \text{ kg/l}} = 1.05 \text{ litros}$$

Entonces:

$$C_{\text{SV}} = \frac{(0.25)(0.76)(1000 \text{ gr})}{1.05l_{\text{estiércol}} + 3l_{\text{agua}}} = 46.91 \text{ gr SV/L}$$

11.5 Tiempo de retención hidráulica y volumen de carga

Como volumen de carga se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al biodigestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor (María – Vanero, 2011).

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de materia seca (MS) o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura. Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional (Tabla 11.4).

Tabla 11.3: Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganado en distintas regiones.

Tiempo de retención hidráulica	Características
30-40 días	Clima tropical con regiones planas, Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40-60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60-90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Fuente: María-Vanero, 2011.

Conociendo la carga diaria y el tiempo de retención hidráulica de 30 días, el volumen líquido del biodigestor será:

$$V_L = V_d \cdot (\text{TRH}) \quad (11.3)$$

Dónde:

V_L = Volumen del biodigestor

V_d = Carga diaria

Entonces:

$$V_L = 168 \text{ litros} (30 \text{ días}) = \mathbf{5,040 \text{ litros}}$$

De esta forma resulta que el volumen líquido del biodigestor será de **5.04 m³**.

11.6 Cálculo de producción diaria de biogás

La producción de biogás a partir del estiércol animal, así como de cualquier otra materia prima, está en función de la cantidad de sólidos volátiles presentes. Es por esto que el volumen de biogás obtenido por kg de estiércol fresco dependerá básicamente de la composición de éste (% SV) y del rendimiento o volumen de biogás que se obtiene por cada kg de SV con que se alimenta al digestor. Este factor de producción es diferente según la materia prima porque éste representa las diferentes proporciones en las que se encuentran macromoléculas como proteínas, lípidos y carbohidratos dentro del sustrato, pues cada una de éstas tiene un potencial de biogás (o metano) distinto.

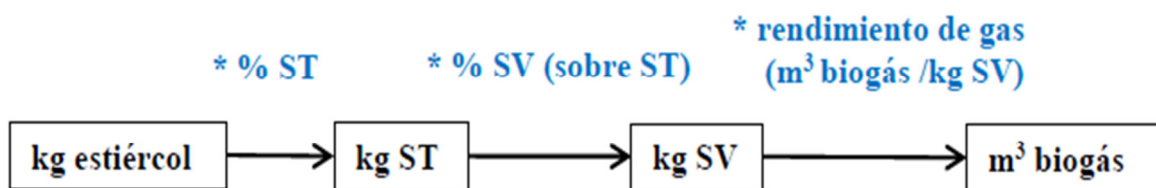


Figura 11.1: Producción de biogás a partir del estiércol animal.

Fuente: Elaboración propia.

$$\frac{\text{m}^3 \text{biogás}}{\text{día}} = \frac{\text{Kg estiércol fresco}}{\text{día}} * \%MS * \%MV(\text{de MS}) * \text{Rendimiento de gas} \left(\frac{\text{m}^3 \text{biogás}}{\text{Kg SV}} \right) \quad (11.4)$$

Para el caso del estiércol fresco de ganado vacuno, el % de ST o MS se toma el valor de 25% (valor utilizado para estimar la cantidad de agua para la mezcla), y para el % de SV con respecto a la cantidad de ST está entre un 76%, estos valores se muestran en la Tabla 11.3.

El valor de rendimiento de biogás asumido en esta investigación es el recomendado por Martí Herrero (2008), el autor propone un factor de producción de 0.27 m³ biogás/kg SV para el estiércol vaca.

Sólidos totales

Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez deshidratado (seco) y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor.

Para calcular los sólidos totales que introducimos diariamente en un biodigestor, basta con multiplicar la carga de estiércol por el 25% y se mide en kilogramos.

$$ST = \frac{\text{Carga diaria} \times \%ST}{V_L} = \frac{\left(56 \frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) (25/100)}{5.04 \text{ m}^3} = \frac{2.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\text{día}}$$

Sólidos volátiles

Los sólidos volátiles, es aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatizándose cuando se calienta durante 2 horas a 600°C, los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano (Varnero, 1990).

Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa. Su valor corresponde aproximadamente a 76% del sólido total introducido por día. (Varnero, 1990).

$$SV = ST \times 76\% = \frac{2.77 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\text{día}} \times 76/100 = \frac{2.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\text{día}}$$

Producción teórica de biogás (PB)

La producción de biogás diaria depende de la cantidad de sólidos volátiles que haya en la carga de estiércol. Conocidos los sólidos volátiles, se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Producción de Biogás (PB)} = SV \times 0.27 = \frac{2.11 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\text{día}} \times 0.27 = 0.57 \frac{\text{m}^3_{\text{biogas}}}{\text{m}^3_{\text{VL}}/\text{día}}$$

$$PB \times VL = 0.57 \text{ m}^3 \times 5.04 \text{ m}^3 = 2.86 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Producción de Biogás al día (litros) = 2,860 litros de gas / día.

De acuerdo con Arnott (1985) si el biogás es sólo usado para cocinar, una familia promedio necesitará un digestor de unos 2 o 3 m³ de capacidad, mientras que una familia numerosa necesitará un digestor de 3 o 5 m³.

El volumen de biogás requerido por persona para la cocción diaria de alimentos puede estar entre 0.3 y 0.42 m³ (FAO, 1992; Harris, 2008; Mazumdar, 1982), por lo que el volumen necesario por persona y por comida se puede asumir en 0.15 m³ biogás.

Entonces para satisfacer los requerimientos de energía para la cocción de tres comidas diarias de una familia de cuatro miembros se necesitarán aproximadamente 1.80 m³ de biogás al día, volumen ligeramente inferior al estimado, 2.86 m³ de biogás al día, por lo que la familia en estudio podrá satisfacer sus necesidades energéticas para la cocción de alimentos.

11.7 Dimensionamiento de la Zanja y del Volumen Total del Biodigestor

La metodología para el diseño de biodigestores de bajo costo es novedosa y universal para evitar supuestos que tiende a reducir el tiempo de retención hidráulica final (TRH) de los digestores una vez estos serán instalados. Este método recomienda diseñar el digestor utilizando el área de la sección transversal de la zanja y propone una optimización de las dimensiones de la zanja con respecto al ángulo de las paredes y la relación entre la longitud de la campana de biogás, mediante un análisis geométrico simple por medio de parametrización.

La metodologías anteriores empleada por los autores ((Botero y Preston, 1987; Bui y col., 1995; Sarwatt y col., 1995; Rodríguez y Preston, 1999; Aguilar, 2001; Martí-Herrero, 2008; Poggio et al., 2009), asume que el volumen líquido final se determina por la forma cilíndrica de la bolsa tubular, esta suposición es errónea, en la mayoría de los casos estudiados resulto en la pérdida de tiempo de retención hidráulica real entre

el 6% y el 51% y reducción de la presión del biogás entre el 15% y el 17% en comparación con el diseño, debido a un menor volumen líquido final una vez la bolsa es colocada en la zanja, por tanto el factor crítico son las dimensiones de la zanja (María – Varnero, 2011).

11.7.1 Medidas disponibles de bolsas tubulares

Los plásticos de polietileno de baja densidad (LDPE) y polietileno de alta densidad (HDPE) son los materiales que se utilizan para el biodigestor tubular y se encuentran disponibles en el mercado local.

En el mercado local se puede encontrar disponibilidad de plástico tubular en presentación en rollo de 72 pulgadas de ancho en color negro, fabricado de polietileno de baja densidad (LDPE), con pigmentos, resistente y excelentes propiedades mecánicas, pero no cuenta con protección a radiación ultravioleta (UV) lo que produce una corta vida útil a la intemperie.



Figura 11.2: Plástico de polietileno de baja densidad (LDPE).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11.4: Tiempo de retención hidráulica de estiércol de ganado en distintas regiones.

Características	Especificación
Materia Prima	Polietileno baja densidad
Acrónimo	LDPE
Punto de fusión	180°C
Densidad	0.92 gr/cm ³ .
Espesor	5.5 milésimas de pulgada

Fuente: Elaboración propia.

Además existen en el mercado Geomembranas PEAD, fabricadas exclusivamente con resina 100% virgen de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), composición de 97.5% de polietileno, 2.5% de negro de humo, además de antioxidantes y termo-estabilizadores.

Tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia química y al agrietamiento ambiental, estabilidad dimensional, resistencia al envejecimiento por temperatura y a la radiación UV.

Tabla 11.5: Propiedades de la Geomembrana HDPE.

Propiedad	GEOMEMBRANAS HDPE				
	Método de ensayo (ASTM)	Unidad	1.0mm	1.5mm	2.0mm
Espesor promedio mínimo	D 5199	mm	1.00	1.50	2.00
Espesor mín. (>10 lecturas)	D 5199	mm	0.90	1.35	1.80
Densidad	D 1505	g/cm ³	0.94	0.94	0.94
Resistencia a la rotura	D 6693, TIPO IV	N/mm	29	44	58
Resistencia a la fluencia	DUMBELL (50mm/min)	N/mm	15	22	30
Elongación a la rotura	G.L.=2.0 in	%	700	700	700
Elongación a la fluencia	G.L.=1.3 in	%	13	13	13
Resistencia al desgarro	D 1004	N	125	187	249
Resistencia al Punzonamiento	D 4833	N	380	570	704
Contenido negro humo (rango)	D 1603	%	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0
Resistencia al agrietamiento (NCTL)	D 5397	Horas	1,000	1,000	1,000
Tiempo inducción oxidación	D 3895	Min	>120	>120	>120
Envejecimiento horno/OIT retenido	D 5721/3895	%	55 / 80	55 / 80	55 / 80
Envejecimiento UV, OIT retenido	D 5885	%	>50	>50	>50
Dimensiones del Rollo	Ancho	m	6.9	6.9	6.9
	Largo	m	265.0	171.0	131.0
	Área	m ²	1,819.0	1,171.0	899.0

Fuente: Elaboración propia.

11.7.2 Volumen del biodigestor tubular ubicado en una trinchera trapezoidal

El volumen total del digestor (VBDG) es determinado por la sección transversal del segmento circular (STC) más la sección transversal trapezoidal (STT) multiplicada por la longitud del biodigestor (L)

$$V_{BDG} = (ST_C + ST_T) \cdot L \quad (11.5)$$

Donde ST_C es:

$$ST_C = \left(\frac{\pi \cdot R_c^2 \cdot n}{360} - \frac{(b \cdot h)}{2} \right) \quad (11.6)$$

El R_c es el radio de la campana, n el ángulo del arco de la campana, b longitud de la cuerda (que corresponde con el ancho superior de zanja) y la h es la altura del triángulo OPQ de la Figura 11.3, h puede ser calculado usando el teorema de Pitágoras.

ST_T es:

$$ST_T = p \cdot \left(\frac{b+a}{2} \right) \quad (11.7)$$

Donde p es la profundidad y a es el ancho inferior de la zanja.

$$f_p = \frac{p}{r} \quad (11.11)$$

11.7.4 Dimensiones para la campana de biogás

La dimensión de la campana de biogás determina la capacidad del digestor para almacenar biogás. En algunos casos campanas más grandes de biogás pudieran ser consideradas, en otros casos se utilizarán depósitos de biogás externos (Gasómetros) y la campana de biogás se puede mantener más pequeña.

En todos los casos es importante mantener un tamaño mínimo de campana de biogás para evitar posibles bloqueos del flujo de biogás fuera del tubo en la parte superior de la campana, que pueda ser causada por dos factores principales:

a) La formación de espuma que obstruye la salida de biogás y b) Obstrucción de la salida del biogás por sólidos en suspensión en la superficie de la fase líquida en situaciones donde la presión del biogás es baja.

La longitud del arco de la campana L_c , tiene la expresión matemática siguiente:

$$L_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_c \cdot n}{360} \quad (11.12)$$

R_c y b son relacionados por:

$$R_c = \frac{b/2}{\text{seno}(n/2)} \quad (11.13)$$

Combinando las ecuaciones (11.12) y (11.13) se obtiene lo siguiente:

$$n = \frac{L_c \cdot 360 \cdot \text{seno}(n/2)}{\pi \cdot b} \quad (11.14)$$

Y L_c puede ser relacionada con b a través del factor f_c .

$$f_c = \frac{Lc}{b} \quad (11.15)$$

Entonces, se encuentra que el ángulo n del arco de la campana es como se muestra en la ecuación (11.16).

$$n = \left(\frac{f_c \cdot 360}{\pi} \right) \cdot \text{seno}(n/2) \quad (11.16)$$

Usando iteración de la ecuación (11.16), el ángulo n puede ser obtenido para f_c , siendo f_c el factor determinante que caracteriza la campana del biogás. En la Tabla 11.6 se muestran algunos resultados, la curva planteada con estos resultados puede ser ajustados por una ecuación polinomial de 6° grado con $R^2=1$ y válido para el rango $1 < f_c < 3$ como sigue:

$$n = -380.767 \cdot f_c^6 + 4028.687 f_c^5 - 17601.390 \cdot f_c^4 + 40720.080 \cdot f_c^3 - 52772.037 \cdot f_c^2 + 36577.344 \cdot f_c - 10536.833 \quad (11.17)$$

Tabla 11.6: Diferentes valores de f_c y su correspondiente ángulo n .

$f_c (L_c/b)$	1.1	1.2	1.3	1.5	1.75	2	2.5
Ángulo $n(^{\circ})$	86	118	140	171	198	217	244

Fuente: Elaboración propia.

La sección transversal de la campana de biogás (ST_C) puede ser relacionada con la sección transversal tubular (ST_T) usando R_C desde la ecuación (11.12) y el teorema de Pitágoras para h (ver Figura 11.3)

$$\frac{ST_C}{ST_T} = \left(\frac{f_c^2}{4 \cdot \pi} \right) \cdot \left(\frac{360 \cdot f_c^2}{\pi \cdot n} - \sqrt{\left(\frac{360 \cdot f_c}{\pi \cdot n} \right)^2 + 1} \right) \quad (11.18)$$

Entonces, si f_c es determinado, n puede estimarse por la ecuación (11.17). f_b puede ser expresado a continuación y en función f_c y α . Entonces ST_c/ST_r está en función de (f_c, α) .

11.7.5 Dimensiones de la zanja

Las dimensiones de la zanja son determinados por el ángulo de las paredes α y la capacidad deseada de la campana de biogás, relacionada con f_c una vez que se determina α .

La forma trapezoidal es comúnmente usada en la ingeniería civil cuando se diseña una pared de retención. El ángulo deseado α no es universal y depende del tipo de suelo, podría requerirse un ángulo diferente α , entonces α es considerado un parámetro para la medida del digestor.

En este caso se cumple la relación trigonométrica:

$$\text{seno}(\alpha) = \frac{(b-a)/2}{A} \quad (11.19)$$

Donde A es la longitud de la pared de la zanja.

La circunferencia del plástico disponible se distribuye como sigue:

$$C = 2 \cdot A + a + L_c \quad (11.20)$$

Combinando las ecuaciones (11.19) y (11.20) α puede ser despejado y dividiendo por r se obtiene la siguiente expresión:

$$f_a = \frac{[f_b - (2 \cdot \pi - f_b \cdot f_c) \cdot \text{seno}(\alpha)]}{1 - \text{seno}(\alpha)} \quad (11.21)$$

La profundidad de la zanja (P), puede ser expresada por f_p como:

$$f_p = \frac{f_b - f_a}{2 \cdot \tan(\alpha)} \quad (11.22)$$

Y definiendo el factor $f_A = \frac{A}{r}$, por tanto:

$$f_A = \frac{(2 \cdot \pi - f_a - f_b \cdot f_c)}{2} \quad (11.23)$$

Finalmente, la sección transversal trapezoidal puede ser relacionar con la sección tubular como:

$$\frac{ST_Z}{ST_T} = \frac{f_b^2 - f_a^2}{4 \cdot \pi \cdot \tan(\alpha)} \quad (11.24)$$

Donde f_a está en función de (f_c, f_b, α) como se muestra en la Ecuación (11.21), entonces ST_Z/ST_T es función de los tres parámetros (f_c, f_b, α) definidos anteriormente.

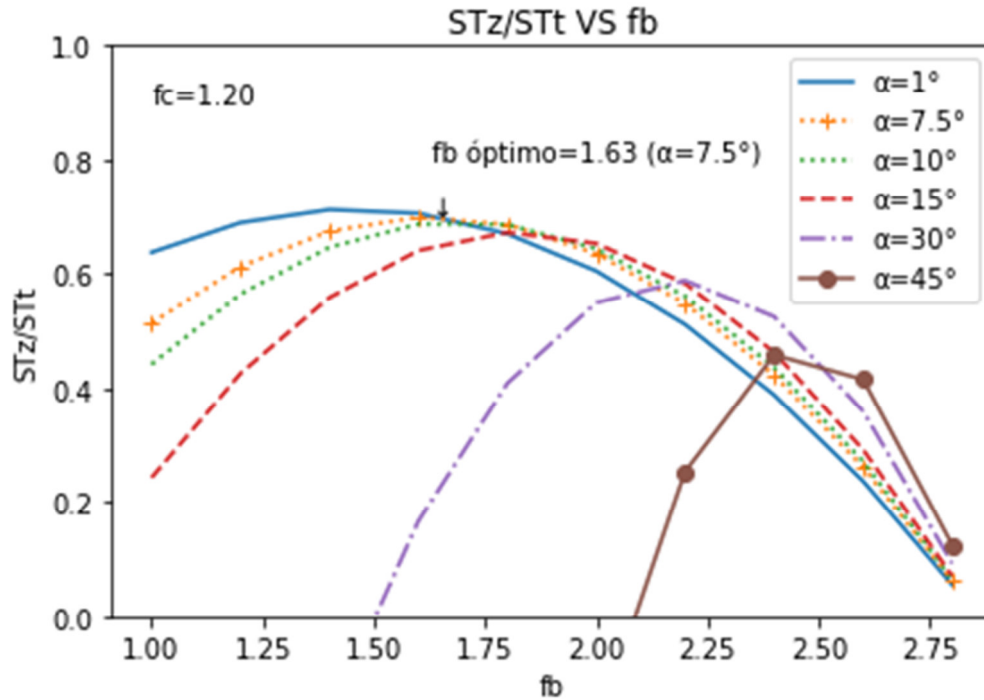
11.7.6 Optimización de las dimensiones de la zanja

La zanja óptima es una con la mayor área de la sección transversal trapezoidal ST_Z , contenida por la circunferencia del plástico disponible C , y definida por el ángulo α de las paredes y la proporción f_c .

Usando la ecuación (11.24) para cada (f_c, α) el valor óptimo f_b puede ser calculado, ese es el que dará el mayor ST_Z/ST_T .

En la Gráfica 11.1, la variación de la proporción ST_Z/ST_T es planteada con f_b , para diferentes ángulos α en el caso de $f_c = 1.2$, de esta forma, el óptimo f_b puede ser determinado por cada (α, f_c) .

Conociendo el óptimo $f_b(\alpha, f_c)$, el resto de los factores f_a, f_p y f_a pueden ser determinados. Finalmente, al asignar una circunferencia C , r puede ser obtenida y las dimensiones de a, b, p, A y L_C se pueden calcular para el caso específico.



Gráfica 11.1: Variación de la ST_z/ST_T con f_b para diferentes α en el caso de $f_c = 1.2$.

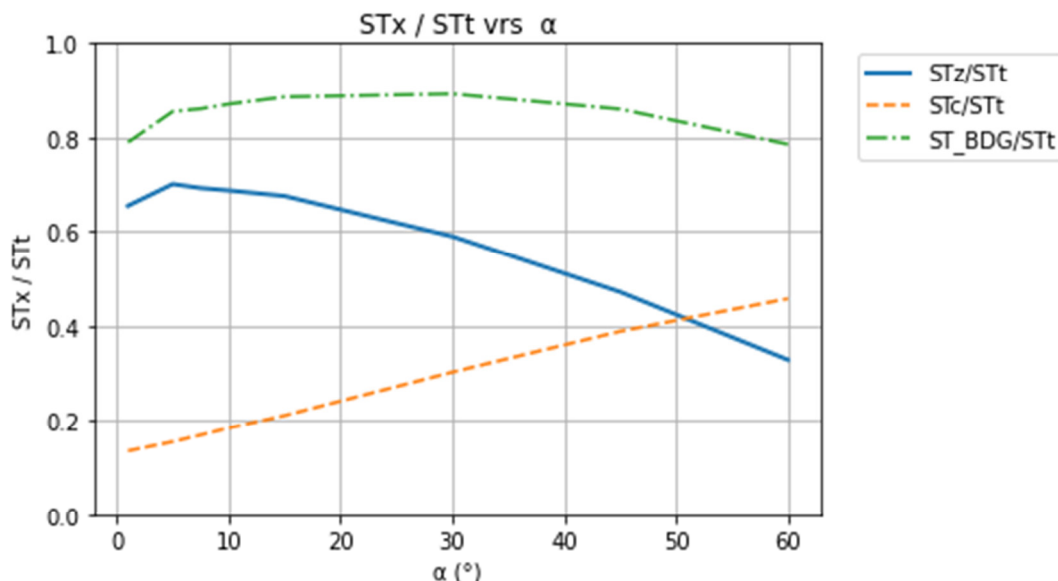
Fuente: Elaboración propia.

11.7.7 Resultados y discusión

El óptimo f_b para diferentes (α, f_c) es mostrado en la

Tabla, los cuales incluyen los correspondientes valores óptimos f_a y f_p . El caso donde $f_c=1$ corresponde al caso de un digestor sin campana de biogás, que tiene un volumen total igual al volumen de líquido contenido en la zanja.

En la Gráfica 11.2: la variación de la relación ST_z/ST_T , ST_C/ST_T y ST_{BDG}/ST_T son ploteados con el ángulo α de las paredes, para el caso específico de $f_c=1.2$. Este comportamiento es similar para otros valores de f_c . Esto se encuentra disminuyendo ST_z/ST_T e incrementando ST_C/ST_T con el ángulo α de las paredes.



Gráfica 11.2: Variación de CSz/CS_t , CSC/CS_t y $CSBDG/CS_{tm}$ con α para $f_c=1.2$ fijo.

Fuente: Elaboración propia.

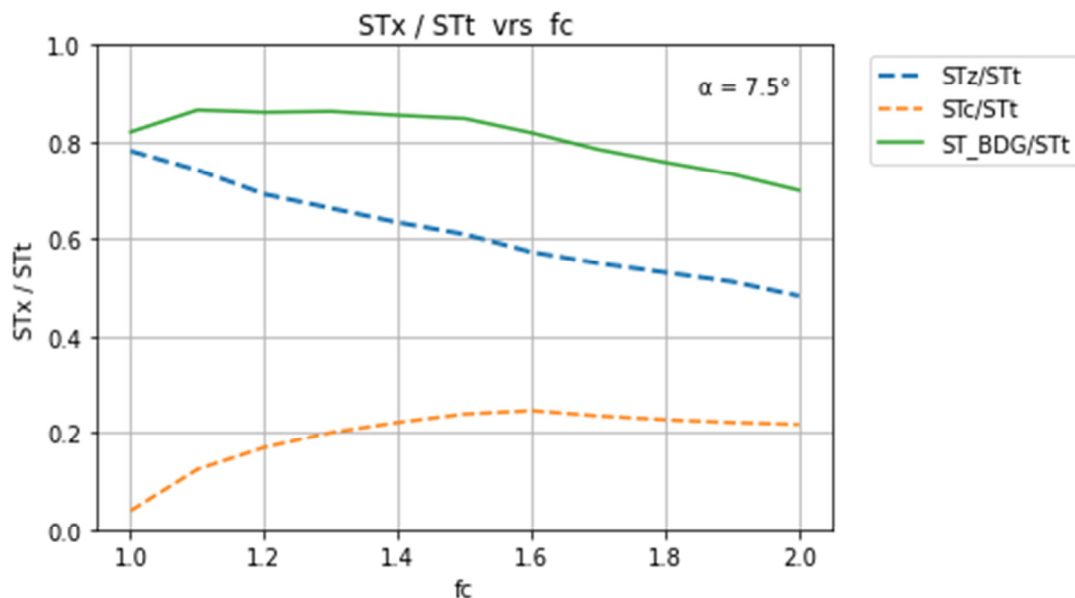
La Gráfica 11.3, muestra la variación de ST_z/ST_T , ST_c/ST_T y ST_{BDG}/ST_T con f_c , específicamente para el caso $\alpha = 7.5^\circ$, el comportamiento es similar para otros valores de α . La relación ST_z/ST_T disminuye ligeramente y ST_c/ST_T conserva más o menos constante para valores de $f_c > 1.3$.

Tabla 11.7: Factores óptimos f_a , f_b y f_p para diferentes (α , f_c).

	Ángulo de las paredes (α)							
	1	5	7.5	10	15	30	45	60
f_b óptimo								
Relación L_c y $b(f_c)$								
1	1.60	1.71	1.78	1.84	1.98	2.36	2.68	2.93
1.1	1.52	1.63	1.70	1.77	1.90	2.26	2.57	2.80
1.2	1.46	1.56	1.63	1.70	1.82	2.18	2.47	2.68
1.3	1.39	1.50	1.57	1.63	1.76	2.10	2.37	2.57
1.4	1.34	1.44	1.51	1.57	1.70	2.02	2.28	2.47
1.5	1.28	1.39	1.46	1.52	1.64	1.95	2.20	2.37
1.6	1.24	1.34	1.41	1.47	1.59	1.89	2.12	2.29
1.7	1.19	1.30	1.36	1.42	1.54	1.83	2.05	2.21
1.8	1.15	1.25	1.32	1.38	1.49	1.78	1.99	2.13
1.9	1.11	1.22	1.28	1.34	1.45	1.72	1.93	2.06
2.0	1.07	1.18	1.24	1.30	1.41	1.68	1.87	2.00

	Ángulo de las paredes (α)							
	1	5	7.5	10	15	30	45	60
f_a óptimo								
Relación L_c y $b(f_c)$								
1	1.55	1.44	1.37	1.29	1.17	0.80	0.45	0.19
1.1	1.47	1.36	1.29	1.23	1.10	0.72	0.43	0.19
1.2	1.41	1.29	1.23	1.17	1.02	0.69	0.42	0.18
1.3	1.34	1.23	1.17	1.10	0.98	0.65	0.36	0.16
1.4	1.29	1.17	1.11	1.04	0.93	0.58	0.32	0.17
1.5	1.23	1.12	1.06	1.00	0.88	0.54	0.31	0.05
1.6	1.19	1.07	1.02	0.95	0.84	0.52	0.26	0.16
1.7	1.14	1.04	0.97	0.91	0.80	0.49	0.24	0.17
1.8	1.10	0.98	0.93	0.87	0.75	0.48	0.27	0.07
1.9	1.06	0.96	0.89	0.84	0.72	0.42	0.27	0.06
2.0	1.02	0.92	0.86	0.80	0.69	0.44	0.24	0.17
f_p óptimo								
Relación L_c y $b(f_c)$								
1	1.57	1.56	1.55	1.55	1.51	1.35	1.11	0.79
1.1	1.57	1.56	1.55	1.53	1.49	1.33	1.07	0.75
1.2	1.56	1.56	1.54	1.52	1.49	1.29	1.03	0.72
1.3	1.57	1.55	1.52	1.51	1.46	1.26	1.00	0.69
1.4	1.56	1.54	1.52	1.50	1.44	1.24	0.98	0.66
1.5	1.57	1.53	1.50	1.48	1.42	1.22	0.95	0.67
1.6	1.56	1.53	1.49	1.47	1.40	1.19	0.93	0.61
1.7	1.56	1.51	1.49	1.46	1.38	1.16	0.90	0.59
1.8	1.56	1.52	1.48	1.44	1.38	1.13	0.86	0.60
1.9	1.56	1.50	1.47	1.43	1.35	1.12	0.83	0.58
2.0	1.56	1.50	1.46	1.42	1.34	1.08	0.81	0.53

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 11.3: Variación de ST_z/ST_t , ST_c/ST_t y ST_{BDG}/ST_t con f_c para $\alpha = 7.5^\circ$ fijo.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definido el f_b óptimo para cada par (α, f_c) , el porcentaje del volumen de líquido y biogás son mostrados en la Tabla , y el porcentaje de volumen de líquido puede ser obtenido.

Tabla 11.8: Porcentaje de volumen de biogás para el óptimo digester tubular para diferentes (α, f_c)

% de Volumen de biogás	Ángulo de paredes (α) °								
		1	5	7.5	10	15	30	45	60
Relación L_c y b , (f_c)	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.1	11%	13%	14%	15%	17%	25%	35%	48%
	1.2	16%	18%	20%	21%	24%	34%	45%	58%
	1.3	19%	22%	24%	25%	29%	40%	52%	64%
	1.4	22%	24%	26%	28%	32%	44%	56%	69%
	1.5	23%	26%	28%	30%	35%	47%	59%	71%
	1.6	23%	27%	29%	31%	36%	48%	60%	72%

% de Volumen de biogás	Ángulo de paredes (α)°							
	1	5	7.5	10	15	30	45	60
1.7	23%	27%	29%	32%	36%	49%	61%	73%
1.8	23%	27%	30%	32%	37%	50%	62%	74%
1.9	24%	28%	30%	33%	38%	51%	63%	75%
2	24%	28%	31%	33%	39%	52%	64%	76%

Fuente: Elaboración propia.

Los autores consideran proponer 75% - 80% del volumen líquido con respecto al volumen total. Para $f_c = 1.2$ la relación entre el volumen líquido y el volumen total de 80%. En este caso, la distancia D (ver Figura 1.3) entre la parte superior de la campana de biogás (correspondiente a la salida del biogás) y el nivel del líquido es 0.46 veces el radio r , espacio suficiente para evitar la obstrucción de la salida del biogás, el ángulo medio α usado por los autores considerados es 7.6° .

Entonces, si $f_c = 1.2$ y $\alpha = 7.5^\circ$ son seleccionados, los factores óptimos son obtenidos por la 11.8, y su resumen es mostrado en la 11.9.

Tabla 11.9: Factores y Características para una zanja típica con $f_c = 1.20$ y $\alpha = 7.5^\circ$.

f_c	α (°)	f_a	f_b	f_p	D/r	% $V_{\text{líquido}}$	% $V_{\text{biogás}}$
1.2	7.5	1.23	1.63	1.54	0.46	80	20

Fuente: Elaboración propia.

Usando estos factores para la circunferencia típica de plásticos HDPE usado de 72" ($C = 3.66$ m.), las dimensiones óptimas para la zanja son las mostradas en la Tabla 11.10.

Despejando b , a , P de las ecuaciones (11.9), (11.10) y (11.11) respectivamente, se tiene:

$$b = f_b \cdot r \quad (11.25)$$

$$a = f_a \cdot r \quad (11.26)$$

$$p = f_p \cdot r \quad (11.27)$$

Sustituyendo en las ecuaciones (11.25), (11.26) y (11.27), tenemos:

$$b = f_b \cdot r = 1.63 \cdot (0.58) = 0.95 \text{ m.}$$

$$a = f_a \cdot r = 1.23 \cdot (0.58) = 0.71 \text{ m.}$$

$$p = f_p \cdot r = 1.54 \cdot (0.58) = 0.89 \text{ m.}$$

Para determinar la altura D mediante la fórmula trigonométrica y h por diferencia:

$$D = r \cdot (1 - \cos(n/2)) \quad (11.28)$$

$$h = r - D \quad (11.29)$$

Sustituyendo en ecuaciones (11.28) y (11.29):

$$D = r \cdot (1 - \cos(n/2)) = 0.58 \cdot (1 - \cos(118/2)) = 0.28 \text{ m.}$$

$$h = r - D = 0.58 - 0.28 = 0.30 \text{ m.}$$

Sustituyendo en la ecuación (11.13):

$$R_c = \frac{b/2}{\text{seno}(n/2)} = \frac{0.95/2}{\text{seno}(118/2)} = 0.55 \text{ m.}$$

Sustituyendo en la ecuación (2):

$$STc = \left(\frac{\pi \cdot Rc^2 \cdot n}{360} - \frac{(b \cdot h)}{2} \right) = \left(\frac{\pi \cdot 0.55^2 \cdot 118}{360} - \frac{(0.95 \cdot 0.30)}{2} \right) = 0.17 \text{ m}^2.$$

Sustituyendo en la ecuación (11.6).

$$ST_z = \frac{p \cdot (b+a)}{2} = \frac{0.89 \cdot (0.95+0.71)}{2} = 0.74 \text{ m}^2.$$

Tabla 11.10: Dimensiones óptimas para zanja tubular para digestor de HDPE de C=3.66 m.

C (m)	r (m)	a (m)	b (m)	p (m)	ST_z (m ²)	ST_c (m ²)	α (°)	L_c/b
3.66	0.58	0.71	0.95	0.89	0.74	0.17	7.5	1.20

Fuente: Elaboración propia.

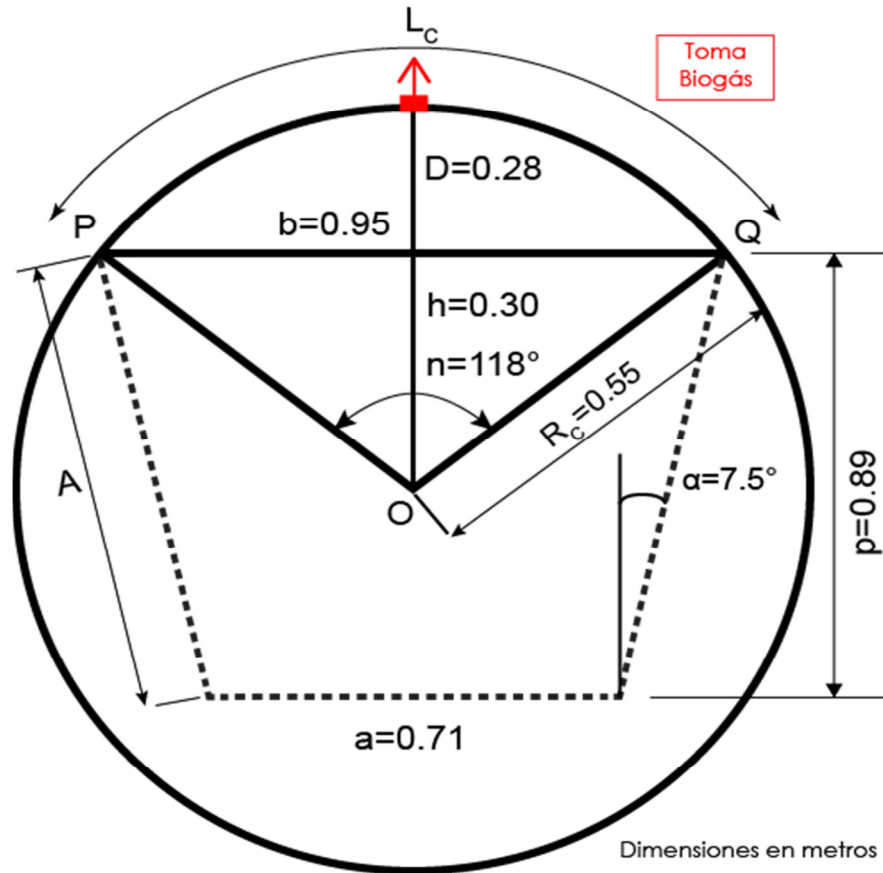


Figura 11.4: Dimensiones de parámetros geométricos para digestor tubular de bajo costo instalado en la zanja.

Fuente: Elaboración propia.

Consideraciones Finales para la influencia de la presión del biogás sobre el tiempo de retención hidráulica.

Por tanto, el volumen líquido y el tiempo de retención hidráulica calculados es para una presión de biogás iguala la presión atmosférica. Como la presión interna del digestor aumente, el volumen del biogás aumenta y el nivel del líquido dentro del digestor disminuye, resultando en una reducción de su volumen (Herrero, 2011).

La estimación de esta pérdida de volumen líquido, es necesario calcular el nuevo p y b , debido a la caída en el nivel del líquido, mientras α que se mantiene invariable. h_p es la presión media dentro del digestor expresada en metros de columna de agua.

La nueva profundidad p' y ancho b' es:

$$p' = p - h_p \quad (11.30)$$

$$b' = b - 2 \cdot h_p \cdot \tan(\alpha) \quad (11.31)$$

Introduciendo α , b' y p' en la ecuación (3) el nuevo valor final de ST_Z' :

$$ST_T' = p' \cdot \left(\frac{b'+a}{2} \right) = (p-h_p) \cdot \left(\frac{b-2 \cdot h_p \cdot \tan(\alpha) + a}{2} \right) \quad (11.32)$$

Sustituyendo α , b y p en la ecuación (11.32):

$$ST_T' = p' \cdot \left(\frac{b'+a}{2} \right) = (p-h_p) \cdot \left(\frac{b-2 \cdot h_p \cdot \tan(\alpha) + a}{2} \right) = (0.89 - 0.10) \cdot \left(\frac{0.95 - 2 \cdot (0.10) \cdot \tan(7.5) + 0.71}{2} \right) =$$

$$ST_T' = 0.65 \text{ m}^2.$$

Considerando un volumen líquido de 5,040 litros (5.04 m³) y $ST_Z = 0.74 \text{ m}^2$.

$$L = \frac{V_{\text{liquido}}}{ST_Z} \quad (11.33)$$

Por tanto:

$$L = \frac{V_{\text{liquido}}}{ST_Z} = \frac{5.04}{0.74} = \mathbf{6.81 \text{ metros}}$$

Para conservar el tiempo de retención hidráulica adecuada (TRH) y el volumen de líquido por la influencia de la presión del biogás, la longitud del digestor L debe multiplicarse por el factor ST_Z/ST_Z' obteniendo finalmente la longitud final L' .

$$L' = ST_Z/ST_T' \cdot L \quad (11.34)$$

Sustituyendo ST_Z , ST_T' y L en la ecuación (11.34):

$$L = \frac{ST_z}{ST_T} \cdot L = \frac{0.74}{0.65} (6.81) = 7.75 \text{ metros}$$

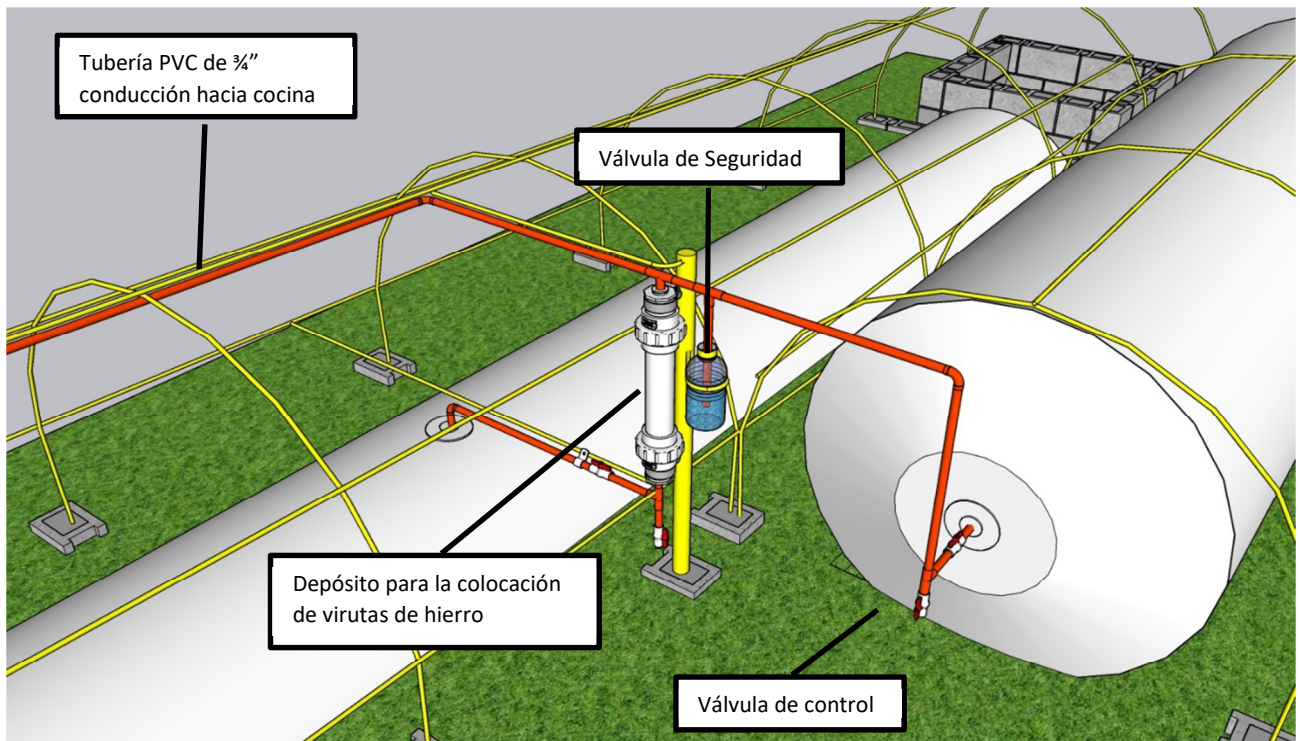
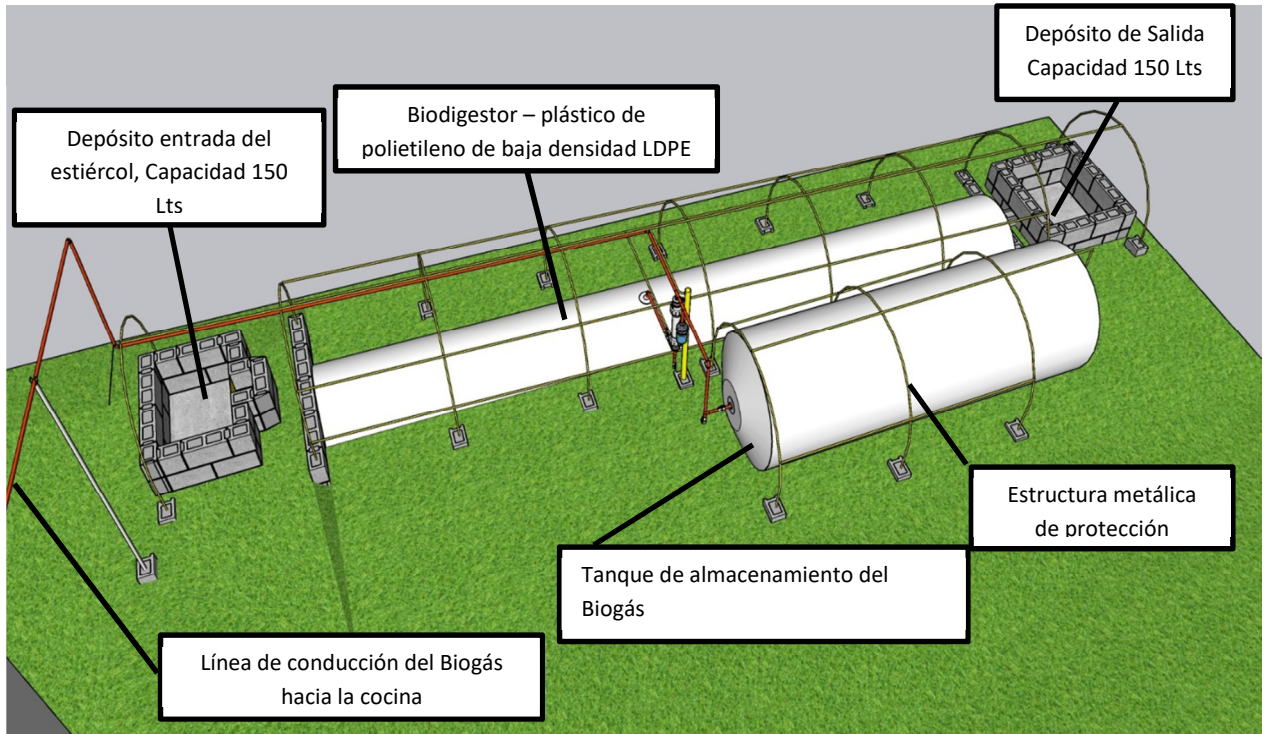
11.7.8 Equilibrio hidráulico

El biodigestor tubular es de flujo continuo, y por tanto no es necesario vaciarlo normalmente a lo largo de su vida útil. Se produce un equilibrio hidráulico por el que cada día al realizar la mezcla de carga por la entrada, desplazará el lodo interior, y rebosará por el otro extremo, la salida, la misma cantidad pero del material ya digerido.

Por tanto, el rebalse o rebose del lodo interior, es definido por la altura de la boca del tubo de salida. Este nivel corresponderá, por tanto con la profundidad de la zanja, para que de esta manera, el lodo en el interior del biodigestor, alcance dicha altura, y el volumen del líquido estimado corresponda con la realidad. Si la boca de salida está por debajo de la profundidad estimada, estaremos reduciendo la altura del lodo en el interior (y por tanto reduciendo el volumen líquido y el tiempo de retención). Y si por el contrario la boca de salida se encuentra por encima de la profundidad estimada, estaremos aumentando el volumen líquido, e impidiendo la formación de la cúpula superior que acumula gas.

11.8 Detalle de Biodigestor y sus Componente Principales

A continuación se presentan los principales componentes del biodigestor propuestos.



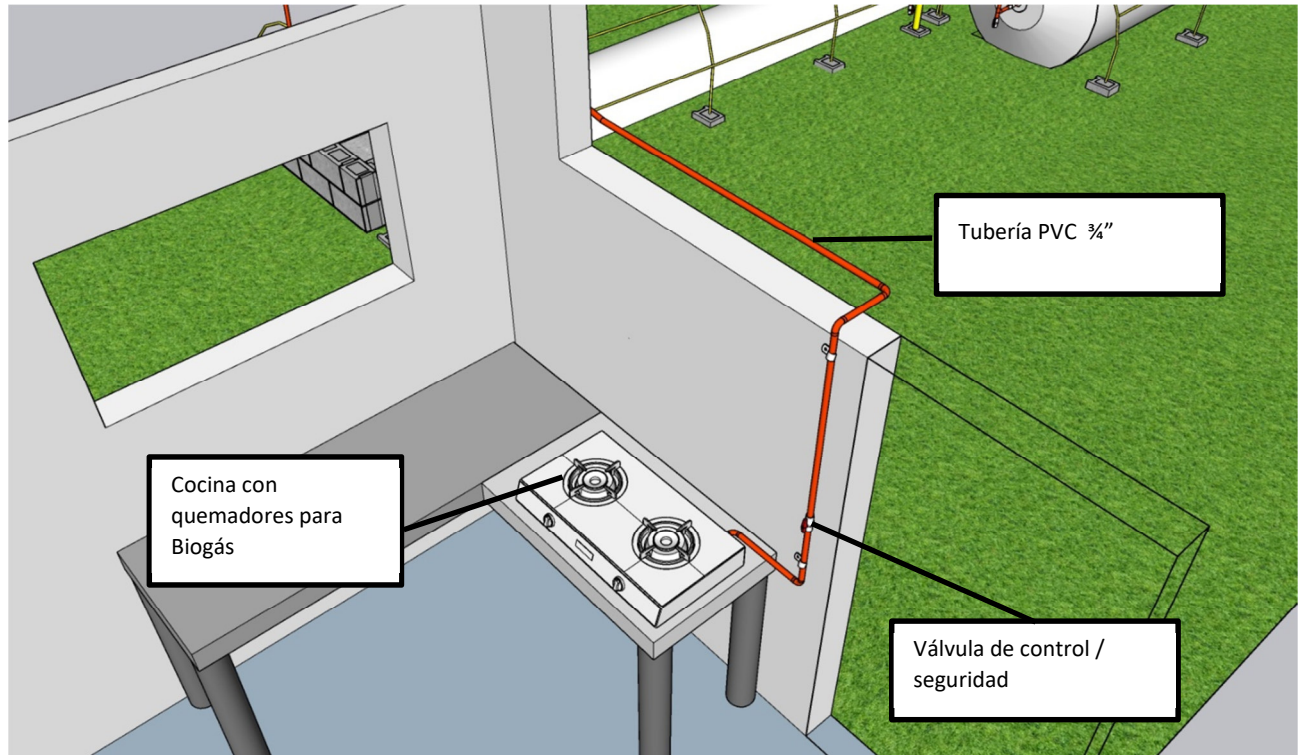


Figura 11.4: Principales componentes del biodigestor propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

12 DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE DISEÑO DE UNA ESTUFA EFICIENTE PARA VIVIENDA MODELO

La preparación de los alimentos en los hogares de la familia rural implica un alto consumo de leña debido a que los fogones tradicionales, que usa la mayoría de las familias en el campo, tienen muy grandes las hornillas, la entrada y la caja del fogón, esto hace que haya un mayor consumo de leña, se produzca más humo, se mantenga sucia la cocina y provoque enfermedades respiratorias en los integrantes de la familia.

Por otra parte, el acarreo de leña se hace desde lugares muy alejados a la comunidad, porque el bosque cada vez está más retirado y por agotamiento del mismo. Asimismo, la deserción escolar tiene una relación directa con esta actividad ya que los niños son principalmente los encargados de traer la leña, caso contrario la familia tiene que comprarla, reduciendo así los ingresos familiares, que podrían dedicarse a otras necesidades prioritarias en el hogar.

Estufas eficientes de leña

Las estufas eficientes de leña son un modelo que la población rural ha aceptado por su alta eficiencia para conservar el calor y la facilidad de adquirir los materiales en la comunidad para su construcción, en comparación con el fogón tradicional empleado en la gran mayoría de los hogares rurales y aún en muchos hogares urbanos, las estufas ahorradoras de leña permiten reducir el consumo de leña empleado en la preparación de alimentos, el tiempo de cocción de los alimentos, el humo en la cocina, el tiempo que la familia invierte en recolección de leña y, consecuentemente, contribuyen a reducir la de forestación.

12.1 Criterio de Selección de Estufa Eficiente

Se toma como criterio de selección de la estufa eficiente el Artículo Científico “Evaluación de tres modelos de cocina ahorradora de leña: Lorena Mejorada, Tezulutlán y Finlandia, y un prototipo de cocina con dos materiales de combustión en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador”, realizado por la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, en el año 2022. El objetivo de dicha investigación fue determinar la eficiencia en el uso de leña de tres cocinas ahorradoras de leña: Lorena Mejorada, Tezulutlán y Finlandia, comparándolas con la cocina de fogón abierto, en el estudio se realizaron cinco pruebas de cocción de alimentos: agua, café, arroz, frijoles y maíz. La leña que se utilizó fue de madrecaao (*Gliricidia sepium*) y conacaste blanco (*Albizia adinocephala*). Las variables evaluadas fueron: tiempo de encendido de la leña, tiempo de ebullición (100 °C), tiempo de cocción, peso de la leña y poder calorífico de las dos leñas.

Conclusión de la investigación realizada

Con la cocina Finlandia se obtuvieron los mejores resultados en las cinco pruebas de cocción de alimentos y en el uso eficiente de la leña, ya que esta enciende con alta intensidad, pero tiene la dificultad de manipulación de la leña por lo estrecho y profundo de la cámara de combustión, otro problema identificado fue el comal que no calienta bien por lo que las tortillas se pegaban y no se cocinan bien.

12.1 Detalle de la estufa tipo Finlandia y sus Componente Principales

A continuación se presenta el detalle de la cocina tipo Finlandia propuesta.

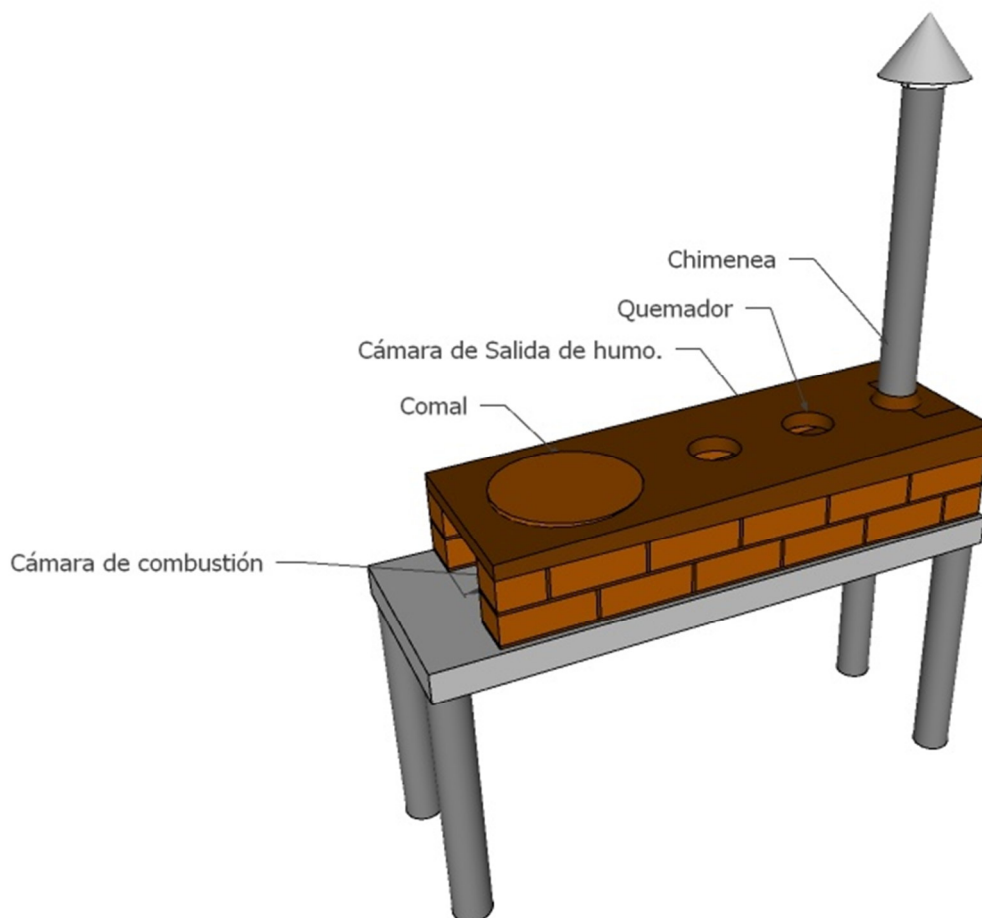


Figura 12.1: Cocina tipo Finlandia propuesta en este estudio.

Fuente: Elaboración propia.

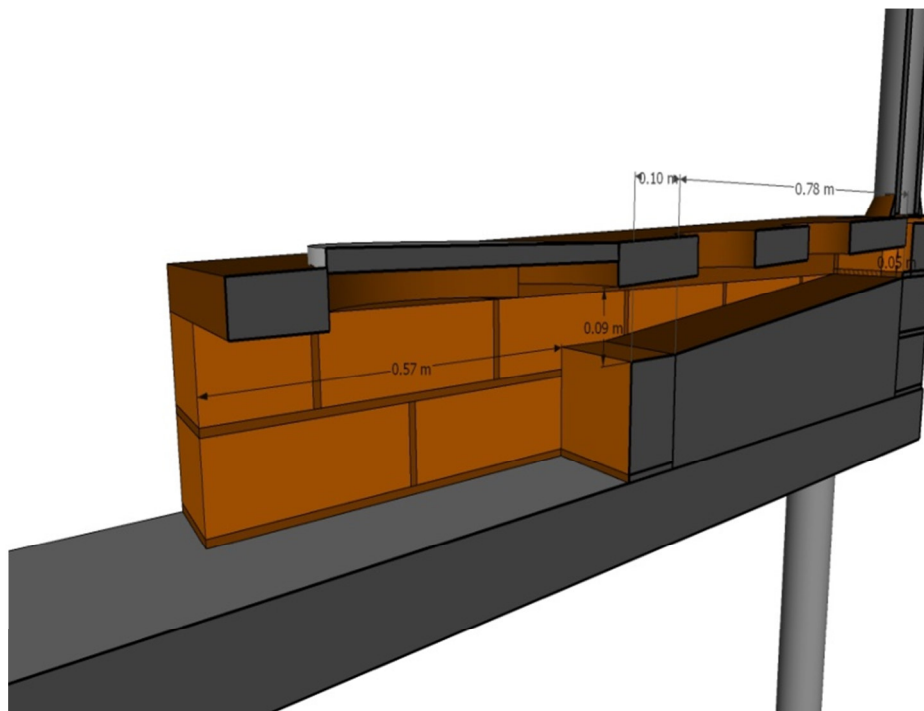
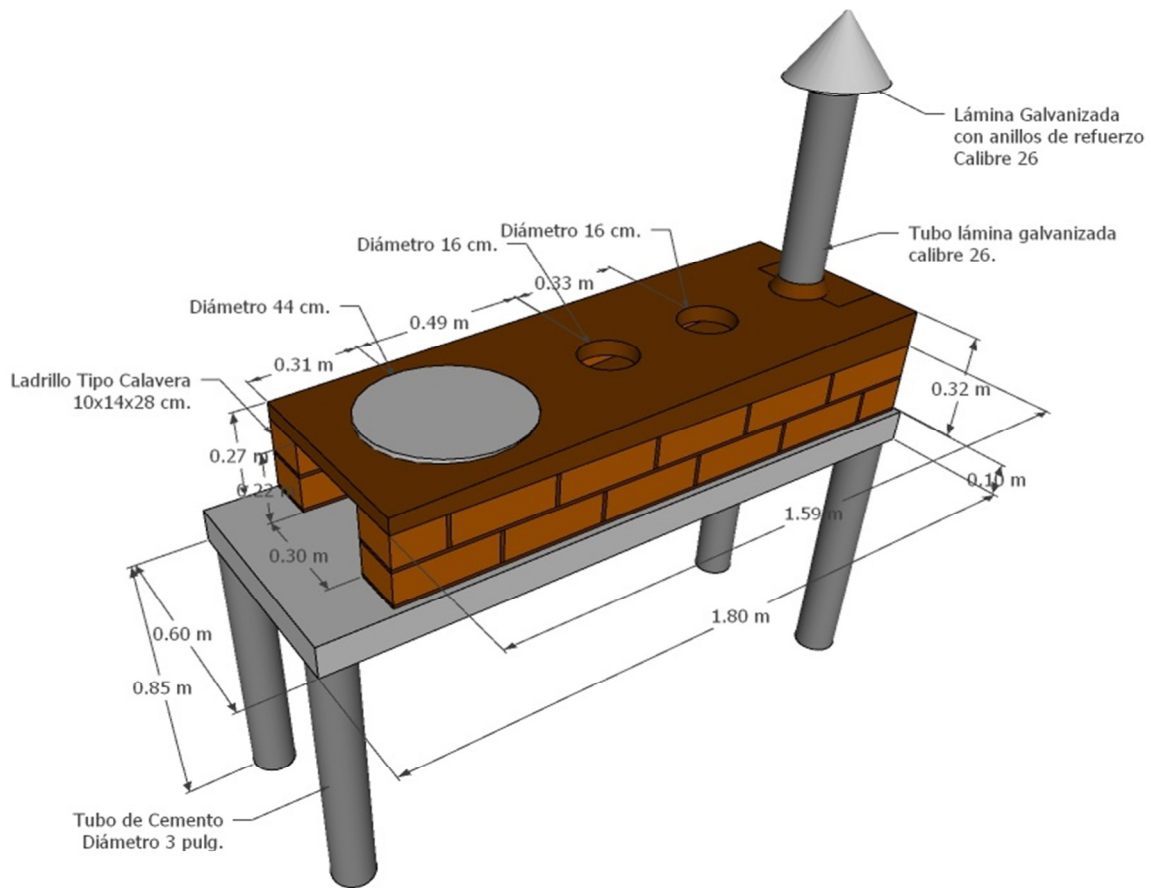


Figura 12.2: Partes principales de la cocina eficiente tipo Finlandia propuesta en este estudio.

Fuente: Elaboración propia.

13 PRE-FACTIBILIDAD TÉCNICA – ECONÓMICA DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS

A continuación se presenta la pre-factibilidad técnica económica de las tecnologías propuestas en esta investigación, con el objeto de estimar los costos asociados a cada tecnología.

13.1 Sistema Fotovoltaico Aislado

Para estimar los costos asociados al sistema fotovoltaico aislado propuesto, se realizó un sondeo de mercado para estimar los costos de los elementos principales, así como también el costo de la energía eléctrica consumida por la familia, comparándola con el pliego tarifario actual, con el objeto de obtener el costo de la energía eléctrica de la familia si estuviese conectada a la red local de distribución.

Tabla 13.1: Costo de los componentes principales del Sistema Fotovoltaico Aislado.

Elemento	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Total (US\$)
Panel Fotovoltaico Mono 360W	4	270.00	1,080.00
Batería de ciclo profundo	4	285.00	1,140.00
Controlador de Carga	1	375.00	375.00
Inversor Solar 1000 W/24V	1	150.00	150.00
Total (US\$)			2,745.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.2: Costo de materiales, accesorios y mano de obra del Sistema Fotovoltaico Aislado.

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio (US\$)	Subtotal (US\$)
Caño Galvanizado de 4 pulg. 1.8 mm x 6 metros	U	1	49.25	49.25
Abrazadera para poste 3-4 pulg (7.62 cm - 10.16 cm) con pernos	U	2	10.5	21
Perno máquina 5/8 x 2 pulgadas	U	20	1.5	30
Riel strut 1.5/8x1.5/8 pulg 10 pies (41.14mm x 41.14 mm x 3.04 m)	U	6	20.95	125.7
Grapa strut 3/4 pulg (19.05 mm)	U	2	0.55	1.1
Tubo conduit de aluminio 3/4 pulg (19.05 mm)	U	2	16.95	33.9
Cuerpo terminal 3/4 pulg (19.05 mm)	U	1	2.25	2.25
Interruptor sencillo 15a 125vac	U	1	1.25	1.25

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio (US\$)	Subtotal (US\$)
Receptaculo para foco 4 pulg baquelita con cadena	U	4	1.95	7.8
Cable electrico thhn 12 (3.31 mm2)negro	ML	14	0.6	8.4
Cable electrico thhn 12 (3.31 mm2)negro	ML	14	0.6	8.4
Cable electrico thhn 14 (2.08 mm2) blanco	ML	23	0.45	10.35
Cable electrico thhn 14 (2.08 mm2) negro	ML	23	0.45	10.35
Cable electrico thhn 12 (3.31 mm2) verde	ML	31	0.6	18.6
Conector scotchlok rojo 3M	U	15	0.32	4.8
Conector scotchlok gris-azul 3M	U	4	0.75	3
Caja térmica 2ckt 100a	U	1	9.95	9.95
Barra polo tierra de 1/2 pulg (12.70 mm) 2 pies (60.96 cm)	U	1	3.25	3.25
Cable electrico thhn 8 (8.37 mm2) verde	ML	2	1.65	3.3
Cepo de cobre para barra de 1/2 pulg (12.70 mm)	U	1	2.2	2.2
Tornillo goloso para lamina cabeza redonda inox #14x1 pulg(25.4 mm)	U	12	0.25	3
Poliducto de 3/4 pulg (19.05 mm) yarda	YDA	40	0.24	9.6
Tornillo goloso hexagonal punta broca zincado #8x1 pulg(25.40 mm)	U	10	0.05	0.5
Cinta aislante 3/4pulg x 60pies (19.05 mm x 18.28 m)negro #165 3M	U	1	1.9	1.9
Foco led 12w e27 luz blanca	U	5	1.95	9.75
Caja rectangular 4x2 pulg pvc (10.16 cm x 5.08 cm)	U	3	0.45	1.35
Toma superficial hembra doble polarizado 15a 120vac	U	2	1.8	3.6
Alambre galvanizado liso calibre 16 (1.65 mm)	LB	1	0.9	0.9
Dado termico 15a 1 polo thql1115 GENERAL ELECTRIC	U	1	6.95	6.95
Dado termico 20a 1 polo thql1120 GENERAL ELECTRIC	U	1	6.95	6.95
			Subtotal	US\$ 399.35
Mano de Obra	SG	1	\$250	\$ 250.00
			Subtotal	\$ 649.35
Imprevisto	SG	5%	---	32.47
			Total	\$ 681.82

Fuente: Elaboración propia.

El costo total de la inversión de instalación del sistema fotovoltaico aislado con una capacidad de 2.36 kWh es de **US\$ 3,426.82**.

Para calcular la rentabilidad de la instalación del sistema fotovoltaico aislado, se utiliza el método de pay-back o periodo de recuperación de la inversión. Considerando el flujo neto de caja (anual) de la familia es aproximadamente constante e igual a los costos que tuviera si estuviesen conectados a la red de energía eléctrica.

El servicio de energía eléctrica en la zona lo suministra la empresa EEO, S.A. de C.V., y en la última actualización del pliego tarifario (del 15 de abril al 14 de julio 2024) establece una tarifa residencial de US\$ 0.192012 / kWh por cargo de energía eléctrica del bloque 1: Primeros 99 kWh.

Estimación de la energía producida por el sistema fotovoltaico:

$$G_{dm}(0, \beta_{opt}) = 3.42 \frac{KWh}{m^2 * mes}$$

Tomando los datos técnicos del panel:

- Potencia máxima (Pp) = 360 Wp
- Voltaje máxima potencia (Vmp) = 39.5 Vmp
- Voltaje corto circuito (Vac) = 48.0 Vac
- Corriente máxima potencia (Imp) = 9.12 A
- Corriente corto circuito (Iac) = 9.51 A

La potencia de cada panel es de 360 Wp, y el sistema cuenta con 4 paneles.

$$Potencia = 4 * 360W = 1,440 W = 1.44 KW$$

Entonces la energía producida por el sistemas en un año sería:

$$Energía = \frac{3.42 \frac{KWh}{m^2}}{dia} * 1.44 KW = 4.92 \frac{KWh}{dia} * 365 dia = \mathbf{1,795.80 KWh al año}$$

Con esta información se realiza el análisis económico, el cual se presenta a continuación:

Resultados de la Evaluación Económica, Sistema Fotovoltaico Aislado

Generación Solar Fotovoltaica																
Evaluación Económica Simple																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039
Periodo (Años)	15															
Tasa de interes	2.9%															
Incremento anual del costo energia	2%															
Inversión	\$ 3,426.82															
Finaciamento	\$ 3,426.82															
Operación y Mtto (Baterías)		\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00	\$ 50.00
Generación Kwh		1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80	1,795.80
Precio de Energía Electrica (\$/kWh)		\$ 0.19	\$ 0.20	\$ 0.20	\$ 0.20	\$ 0.21	\$ 0.21	\$ 0.22	\$ 0.22	\$ 0.22	\$ 0.23	\$ 0.23	\$ 0.24	\$ 0.24	\$ 0.25	\$ 0.25
Aprovechamiento del Energía Fotovoltaica		\$ 344.79	\$ 351.69	\$ 358.72	\$ 365.90	\$ 373.22	\$ 380.68	\$ 388.29	\$ 396.06	\$ 403.98	\$ 412.06	\$ 420.30	\$ 428.71	\$ 437.28	\$ 446.03	\$ 454.95
Deuda bancaria, inicio		\$ (3,426.82)	\$ (3,241.27)	\$ (3,050.34)	\$ (2,853.87)	\$ (2,651.71)	\$ (2,443.68)	\$ (2,229.62)	\$ (2,009.36)	\$ (1,782.70)	\$ (1,549.47)	\$ (1,309.48)	\$ (1,062.53)	\$ (808.42)	\$ (546.93)	\$ (277.87)
Pago al banco		\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)	\$ (284.93)
Interés		\$ (99.38)	\$ (94.00)	\$ (88.46)	\$ (82.76)	\$ (76.90)	\$ (70.87)	\$ (64.66)	\$ (58.27)	\$ (51.70)	\$ (44.93)	\$ (37.97)	\$ (30.81)	\$ (23.44)	\$ (15.86)	\$ (8.06)
Capital		\$ (185.55)	\$ (190.93)	\$ (196.47)	\$ (202.16)	\$ (208.03)	\$ (214.06)	\$ (220.27)	\$ (226.66)	\$ (233.23)	\$ (239.99)	\$ (246.95)	\$ (254.11)	\$ (261.48)	\$ (269.07)	\$ (276.87)
Deuda bancaria, final		\$ (3,241.27)	\$ (3,050.34)	\$ (2,853.87)	\$ (2,651.71)	\$ (2,443.68)	\$ (2,229.62)	\$ (2,009.36)	\$ (1,782.70)	\$ (1,549.47)	\$ (1,309.48)	\$ (1,062.53)	\$ (808.42)	\$ (546.93)	\$ (277.87)	\$ (1.00)
Flujo de caja	\$ (3,426.82)	\$ 195.42	\$ 207.69	\$ 220.26	\$ 233.14	\$ 246.32	\$ 259.81	\$ 273.63	\$ 287.79	\$ 302.28	\$ 317.13	\$ 332.33	\$ 347.89	\$ 363.84	\$ 380.17	\$ 396.89

Condiciones del financiamiento para el crédito.
Tasa de interés preferencial: 2.90%
Plazo: 15 años
Incrementos del precio de la energía por año: 2%

De la evaluación económica resulta:

Tasa de Descuento = 2.82%

TIR = 3%

VAN = 3.11

Conclusión

Debido a que la Tasa de Descuento es menor a la TIR, el proyecto resulta rentable. Otro indicador es la VAN, que resulta ser mayor a Cero, por lo que nos indica que el proyecto es rentable bajo esas condiciones.

13.2 Digestor Anaeróbico para Producción de Biogás

En esta fase, se utiliza la información obtenida en el Capítulo 11, para realizar un análisis aproximado de los costos y la viabilidad económica del biodigestor de tipo tubular (Taiwán). Se estiman los costos financieros de la implementación de este biodigestor, incluida la inversión inicial, los gastos operativos y los posibles ahorros de su uso. Este análisis nos permitirá evaluar completamente la sostenibilidad económica del proyecto y determinar si el biodigestor tipo Taiwán es una opción viable y rentable para una familia en el área rural.

Análisis Económico

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del biodigestor requiere la consideración de una variedad de elementos, uno de los cuales es el volumen, que se determina por la carga diaria, que a su vez depende de la disponibilidad de materia orgánica y las dimensiones del biodigestor. Estas medidas varían según la cantidad de biogás que se quiere producir, ya sea diaria o semanal.

Herramientas y Materiales

La construcción del biodigestor tipo Taiwán se llevará a cabo utilizando herramientas de construcción convencionales, como pico, pala y plomada, entre otras. La precisión en las dimensiones y la instalación adecuada de los componentes dependen de estas herramientas. Además de las herramientas, se requieren materiales como la bolsa de

polietileno de baja densidad para construir la cámara de biodigestión. Para garantizar la durabilidad y eficiencia del biodigestor en su función de producción de biogás, es esencial elegir las herramientas y materiales adecuados.

Tabla 13.4: Costos de materiales necesarios para la construcción del biodigestor.

Lista de Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	SubTotal (US\$)
Bushing pvc de 2 a 3/4 pulg (50.8 mm x 19.05 mm)	U	2	0.95	1.90
Unión universal pvc sin rosca de 2 pulg (50.8 mm)	U	2	7.50	15.00
Tubo pvc 100 psi de 2 pulg (50.8 mm) x 1 metro	U	1	2.00	2.00
Hierro redondo corrugado 9.5 mm x 6 m (3/8 pulg) g40 AG	U	23	3.59	82.57
Hierro redondo liso 6.35 mm (1/4 pulg)	U	5	1.36	6.80
Lamina Hierro negra de 3/16" (23 x 40 cm)	U	1	7.00	7.00
Válvula pvc bola 3/4 pulg sin rosca (19.05 mm)	U	5	2.50	12.50
Tubo industrial redondo 1 pulg (25.40 mm)chapa 20 (0.90 mm)	U	1	7.65	7.65
Codo pvc a 90° sin rosca de 3/4 pulg (19.05 mm)	U	9	0.26	2.34
Tee de pvc sin rosca de 3/4 pulg (19.05 mm)	U	4	0.40	1.60
Tubo pvc 250 psi de 3/4 pulg (19.05 mm)	U	3	3.25	9.75
Cinta teflón para gas 3/4 x 12 mts (19.05 mm x 12 m)	U	2	1.60	3.20
Grapa conduit 3/4 pulg (19.05 mm)	U	4	0.25	1.00
Electrodo para hierro dulce e6013 3/32 pulg	LB	2	2.50	5.00
Cemento gris maestro cuscatlan 42.5 kg holcim HOLCIM	U	7	8.20	57.40
Plastico negro 72 pulg	Yda	20	0.95	19.00
Alambre de amarre negro liso calibre 16	LB	1	0.70	0.70
Abrazadera metálica para manguera 1 pulg (25 mm)	U	1	0.40	0.40
Cincho plástico de 24 pulg.	U	2	0.25	0.50
Silicón rojo 3 oz	U	1	1.00	1.00
Arena	M3	1.5	35.00	52.50
Grava	M3	0.25	50.00	12.50
Cocina de 2 quemadores PUXIN Shenzhen Puxin Technology Co., Ltd	U	1	147.40	147.40
			Total	US\$ 449.71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13.5: Costos de mano de obra empleada para la construcción del biodigestor.

Mano de Obra			
Actividades	Días	Costo/día (US\$)	Total (US\$)
Trazo y Nivelación	1	48.00	48.00
Excavación de Biodigestor (2 auxiliares)	8	18.00	144.00
Hechura de cajas de entrada y salida	2	48.00	96.00
Construcción de muros de retención (2)	2	48.00	96.00
Fabricación de Estructura metálica (Mecánico+Auxiliar)	1	58.00	58.00
Instalación de tuberías y accesorios de PVC	1	48.00	48.00
Transporte en General	1	50.00	50.00
		Total	US\$ 540.00

Fuente: Elaboración propia.

El costo estimado total de la instalación del biodigestor es de **US\$ 989.71**, se debe tener en cuenta que dicho costo total puede disminuir si se utiliza mano de obra y herramientas locales (por ejemplo de la familia propietaria de la instalación de biogás).

Para calcular la rentabilidad de la instalación de biogás para una familia (de cuatro miembros), se utiliza el método de periodo de recuperación de la inversión. Considerando el flujo neto de caja (anual) de la familia es aproximadamente constante e igual a los gastos que se dejan de tener al utilizar el biogás producido por la instalación (no se consideran gastos para su mantenimiento).

Resultados de la Evaluación Económica, Biodigestor

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Periodo (Años)	8								
Tasa de interes	6%								
Incremento anualizado GLP	2%								
Inversión	\$ 989.71								
Financiamiento	\$ 989.71								
Operación y Mtto		\$ -	\$ -	\$ 98.68	\$ -	\$ -	\$ 98.68	\$ -	\$ -
Generación Biogas equivalente GLP (m3/añual)		251.85	251.85	251.85	251.85	251.85	251.85	251.85	251.85
Precio de GLP (\$/m3)		\$ 0.81	\$ 0.83	\$ 0.84	\$ 0.86	\$ 0.88	\$ 0.89	\$ 0.91	\$ 0.93
Aprovechamiento del Biogás		\$ 204.00	\$ 208.08	\$ 212.24	\$ 216.48	\$ 220.81	\$ 225.23	\$ 229.74	\$ 234.33
Deuda bancaria, inicio		\$ (989.71)	\$ (889.81)	\$ (783.93)	\$ (671.68)	\$ (552.71)	\$ (426.59)	\$ (292.91)	\$ (151.21)
Pago al banco		\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)	\$ (159.28)
Interés		\$ (59.38)	\$ (53.39)	\$ (47.04)	\$ (40.30)	\$ (33.16)	\$ (25.60)	\$ (17.57)	\$ (9.07)
Capital		\$ (99.90)	\$ (105.89)	\$ (112.24)	\$ (118.98)	\$ (126.12)	\$ (133.68)	\$ (141.70)	\$ (150.21)
Deuda bancaria, final		\$ (889.81)	\$ (783.93)	\$ (671.68)	\$ (552.71)	\$ (426.59)	\$ (292.91)	\$ (151.21)	\$ (1.00)
Flujo de caja	\$ (989.71)	\$ 263.38	\$ 261.47	\$ 160.60	\$ 256.79	\$ 187.65	\$ 152.15	\$ 247.31	\$ 243.40

Condiciones del financiamiento para el crédito.
 Tasa de interés preferencial: 6.0%
 Plazo: 8 años
 Incrementos del precio del gas GLP por año: 2%

De la evaluación económica resulta:

Tasa de Descuento = 5.66%

TIR = 16%

VAN = 390.56

Conclusión

Debido a que la Tasa de Descuento es menor a la TIR, el proyecto resulta rentable, para el periodo establecido de 8 años y la tasa del crédito preferencial otorgada.

13.3 Estufa Eficiente de Leña

En este apartado se utiliza la información obtenida en el Capítulo 12, para realizar un análisis aproximado de los costos y la viabilidad económica de la estufa eficiente a base de leña. En el capítulo, se definió para este estudio, la estufa tipo Finlandia, con la cual se obtienen los siguientes costos de las materiales para su construcción.

Tabla 13.6: Costo de los materiales y mano de obra para la construcción de la estufa eficiente tipo Finlandia.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (US\$)	Subtotal (US\$)
Lámina galvanizada lisa 3x1 yarda (2.74x0.91 m) calibre 26 (0.45 mm)	U	1	18.00	18.00
Ladrillo tipo calavera 10 x 14 x 28 cm	U	30	0.50	15.00
Cemento gris maestro cuscatlan 42.5 kg holcim	U	1	8.50	8.50
Arena (Cubeta)	CUB	2	2.00	4.00
Hierro redondo liso 6.35 mm (1/4 pulg)	U	1	1.34	1.34
Alambre de amarre negro liso calibre 16 (1.5 mm)	U	1	0.70	0.70
Planchas de hierro de 3/16 pulg.	SG	1	30.00	30.00
Remache pop de 1/8x1/2 pulg.(3.17 mm x 12.70 mm) s/100	SG	1	1.70	1.70
Transporte	SG	1	20.00	20.00
Mano de Obra (Albañil + Auxiliar)	SG	1	48.00	48.00

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (US\$)	Subtotal (US\$)
Subtotal				147.24
Imprevisto	%	5%	---	7.36
TOTAL				US\$ 154.60

Fuente: Elaboración propia.

Con la construcción de la estufa eficiente tipo Finlandia, se tiene un costo aproximado de **US\$ 154.60**, la cual es bastante accesible para una familia o para ser implementada como proyecto por parte de la comunidad o Alcaldía.

En este punto no se puede realizar un análisis de costo/inversión, debido a que no se cuentan con datos de consumo de leña específico de la familia, ya que parte de la leña la colectan del terreno y otra parte la compran, por lo que se tendría que cuantificar este consumo con el uso de la cocina de fuego abierto versus la cocina eficiente tipo Finlandia. Sin embargo, de los datos obtenidos en las encuestas, se tiene que una familia gasta alrededor de US\$ 15.00 por la compra de leña.

Entonces, análisis económico sería el siguiente:

Datos del pante de leña:

Volumen del pante = 0.60 m. x 2.0 m. x 2.0 m. = 2.40 m³.

Precio del pante en zona Oriental = US\$ 40.00

Costo de leña = 40/2.40 m³ = US\$ 16.67/m³

Densidad de leña seca = 500 Kg/m³.

Peso del pante = 2.40 m³ x 500 Kg/m³ = 1,200 Kg.

Poder Calorífico de la leña seca = 4,600 Kcal/Kg.

Poder Calorífico del pante = 4,600 Kcal/kg x 1200 Kg. = 5,520,000 Kcal.

El costo de leña mensual es de US\$ 15.00 según datos de encuesta realizada, lo que representa un valor de 15/40 = 38 % del volumen del pante.

Por tanto, tendremos:

Demanda energética de 38% para estufa convencional: 0.38x5,520,000 Kcal = 2,097,600 Kcal al mes.

Cantidad de leña = 0.38 x 2.40 m³. = 0.91 m³ al mes.

Con el uso de una estufa tipo finlandesa tendríamos un ahorro del 30% que con la estufa convencional.

Demanda energética con estufa tipo finlandesa: $0.70 \times 2,097,600 \text{ Kcal} = 1,468,320 \text{ Kcal}$ al mes.

Cantidad de leña = $0.70 \times 0.91 \text{ m}^3 = 0.64 \text{ m}^3$ al mes.

Ahorro en cantidad de leña con el uso de estufa tipo finlandesa: $0.91 - 0.64 = 0.27 \text{ m}^3$ al mes, que representa $0.27 \times \$ 16.67/\text{m}^3 = \text{US\$ } 4.50$ al mes.

Ahorro estimado en leña = $0.27 \text{ m}^3 \times 500 \text{ Kg}/\text{m}^3 = 135 \text{ Kg}$.

14 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de la investigación llevada a cabo en la zona rural del Municipio de Yucuaiquín.

- 1) Es importante resaltar que las tecnologías evaluadas en este estudio poseen un gran potencial para contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, generadas principalmente las excretas del ganado vacuno y la quema de leña para cocinar. En la investigación se evidenció que esta práctica es una actividad cotidiana en la zona rural de El Salvador. En este sentido, la implementación de un sistema fotovoltaico aislado, biodigestor a escala doméstica y estufas ahorradoras se presentan como una opción prometedora para la reducción de gases de efecto invernadero.
- 2) En la zona rural del Municipio de Yucuaiquín, resultó difícil encontrar viviendas donde fuera posible evaluar las tres tecnologías simultáneamente. Por ello, concluimos que lo más viable sería aplicar cada tecnología en aquellas viviendas donde mejor se adapten, permitiendo que, a través de la práctica y el uso, los habitantes se familiaricen con su implementación y los beneficios que aportan a nivel ambiental y económico. La implementación de estas tecnologías, acompañada de una capacitación adecuada para los habitantes del municipio, permitirá fomentar de manera eficiente beneficios ambientales, sociales y económicos. Durante el desarrollo de la investigación, se constató el interés de los residentes por conocer más acerca de cada una de las tecnologías evaluadas.

Sistema Fotovoltaico Aislado

- 3) El sistema fotovoltaico seleccionado, cumple con los requerimientos de energía eléctrica requerida por la vivienda modelo seleccionada, sin embargo, su implementación requiere de gran inversión inicial.
- 4) El sistema fotovoltaico aislado seleccionado cumple con los requerimientos de energía eléctrica requerida por la vivienda modelo seleccionada, y en la evaluación técnica – económica el proyecto resulta rentable, asumiendo una tasa de interés preferencial del 2.90% para el financiamiento, sin embargo, dichos proyectos generalmente son financiados con fondos de cooperación extranjera, promovidos por el Gobierno Central. De acuerdo con la Política Energética Nacional de El Salvador 2020-2050, el Gobierno Central tiene como eje estratégico, el objetivo de alcanzar el acceso universal de energía para el año 2030, mediante el abastecimiento energético sostenible, por lo que en el año 2023, dio inicio el

programa denominado Programa de Acceso Universal a la Energía en El Salvador, desarrollado por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y la Distribuidora Eléctrica Cuscatlán (DEC), con fondos provenientes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el cual consiste en lograr un índice de electrificación nacional del 100%, dicho programa incluye los proyectos siguientes:

- a) Proyectos de Extensión de Redes
 - b) Proyectos de Mini-redes
 - c) Sistemas Fotovoltaicos Aislados
- 5) El uso de energía eléctrica en una familia rural representa una gran ventaja, ya que se logra el desarrollo integral de la familia y cumple con uno de los objetivos de desarrollo sostenible, el objetivo No. 7, “Garantizar el acceso de energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos”.

Digestor Anaeróbico para la producción de Biogás

- 6) La aplicación del digestor anaeróbico para la producción de biogás, es una fuente de energía renovable, la cual puede reemplazar el combustible fósil como el gas natural o el GLP. Además, permite obtener un fertilizante orgánico (bioabono), y evita la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición incontrolada de materia orgánica.
- 7) El biodigestor anaeróbico tubular de plástico evaluado, es el más económico y más práctico de utilizar y construir, sin embargo, hay que tener en cuenta la disponibilidad de agua y estiércol de ganado vacuno para su operación.
- 8) Una de las razones del abandono de un biodigestor tubular de plástico es la baja producción de biogás obtenida con respecto a la estimada inicialmente. Esto se debe al poco conocimiento técnico que tienen las familias sobre la digestión anaeróbica y los parámetros que lo afectan, como las dosificaciones adecuadas de sustrato, las dimensiones de las zanjas, y el sistema debe operar en condiciones anaeróbicas, por lo que se tiene que estar pendiente de las condiciones del plástico, para evitar fugas de gas y entrada de aire (oxígeno) al sistema.

Estufa de Leña Eficiente

- 9) La estufa de leña eficiente seleccionada es la tipo Finlandia, debido a que su construcción es económica y su eficiencia es aceptable, comparada con otros diseños de cocinas eficientes, como la cocina Lorena Mejorada o Turbo Cocina.

- 10) Una de las ventajas de la estufa Finlandia es su diseño con chimenea, que permite extraer el humo y sacarlo por encima del techo de la vivienda, evitando así la contaminación por humo en el interior de la vivienda. Además, su rendimiento con la leña es mejor que la estufa de fuego abierto, por lo que se consume menor cantidad de leña, lo que representa un ahorro para la familia.

- 11) El uso de las estufas de leña eficiente, reducen el consumo de leña, lo que representa una menor deforestación de los bosques aledaños a la comunidad.

15 RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos y dificultades observadas a lo largo del desarrollo de la investigación, se presentan las recomendaciones siguientes:

- 1) Realizar una actualización exhaustiva del registro de viviendas que actualmente no tienen acceso a energía eléctrica. Esto permitirá una planificación y desarrollo más eficientes de proyectos energéticos que impulsen el desarrollo sostenible del municipio. Dentro de esta planificación, sugerimos considerar una evaluación estructural de las viviendas, identificando las características de paredes y techos. Esta información resultará crucial para optimizar el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos, asegurando una distribución adecuada de los equipos y, potencialmente, reduciendo los costos de instalación.
- 2) Seleccionar un espacio apropiado para la instalación de biodigestores, asegurando el cumplimiento de las normativas de seguridad pertinentes. Es fundamental promover el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP) como guantes, gafas, botas de hule y mascarilla durante la manipulación de lodos. Asimismo, se debe evitar desechar estos residuos de manera inadecuada. Además, se recomienda realizar capacitaciones técnicas a las familias, antes de implementar este tipo de proyectos, ya que en muchas ocasiones las fallas ocurren por el mal manejo de las condiciones de operación del biodigestor, por lo que no se obtienen los rendimientos esperados.
- 3) La estufa de leña eficiente seleccionada en este estudio, representa bajo costo en su construcción, sin embargo, se debe tener en cuenta que la cámara de combustión es pequeña y profunda, por lo que se puede tener problemas al momento de manipular la leña para alimentar la estufa, así como la limpieza de la misma.
- 4) Las autoridades locales y gubernamentales, deben de implementar proyectos de este tipo en los hogares del área rural, y brindar el financiamiento, acompañamiento y asesoría técnica necesaria, para contribuir con el desarrollo sostenible de las familias de escasos recursos, y así reducir la brecha de la pobreza en las comunidades rurales.

16 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Artículo Científico – Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (2022), Evaluación de tres modelos de cocinas ahorradoras de leña: Lorena Mejorada, Tezulutlán y Finlandia, y un prototipo de cocina con dos materiales de combustión en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.
2. Banco Central de Reserva, Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples (EHPM) 2023.
3. Martí – Herrero, J., & Cipriano J. (2012). Design methodology for low cost tubular digesters. *Bioresource Technology*, 21-27.
4. Martí Herrero, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. Bolivia: GTZ Energía.
5. SIGET (primer semestre año 2022) – Boletín de estadísticas eléctricas.
6. Tesis MERMA-UES 2018 - Norma Técnica de Diseño, Seguridad y Operación de Instalaciones de Generación de Energía con Tecnología Solar Fotovoltaica de Hasta 100 Kw.
7. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala (2007) – Evaluación Tecnológica de la Fabricación de Equipos Domésticos para Combustión de Leña como Consecuencia del Tipo de Materiales Utilizados, Ensayo de Eficiencia.
8. Universidad de Carlos III Madrid, España (Curso 2018-2019) – Ejercicio de Dimensionamiento de Instalaciones Solares Fotovoltaicas Aisladas, del Master en Energías Renovables en Sistemas Eléctricos.
9. Winston Arrieta – Palacios (2016). Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. Universidad de Piura.

ANEXOS

Anexo No.1: Carta Respuesta Consejo Nacional de Energía (CNE)



CONSEJO NACIONAL DE ENERGÍA

San Salvador, 5 de enero de 2021
REF: CNE/SE/DAEE/2021/003/SJFG

Maestro
MANUEL MONTEJO
Director de la Escuela de Posgrado-FIA
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Universidad de El Salvador
Presente

Estimado Maestro Montejo:

En atención a carta con referencia (EP-0237-2020), adjunto remito la información solicitada sobre distribución de energía para la elaboración del trabajo de graduación titulado: "Uso eficiente de energías renovables no convencionales a escala doméstica en área rural del municipio de Yucuaiquín", Departamento de la Unión.

En el municipio de Yucuaiquín hay dos caseríos que no cuentan con acceso a energía eléctrica, ni acceso vial, los cuales se describen a continuación:

1. Caserío El Chaguite, Cantón Las Cruces consta de 29 familias, 20 casas.
2. Caserío El Cerrón, Cantón Las Cruces, 28 familias, 20 casas.

Adicionalmente se solicitó al señor Alcalde municipal de Yucuaiquín, Departamento de la Unión, que proporcione apoyo a los estudiantes del trabajo de graduación, para lo cual se requiere que la Universidad envíe carta vía correo electrónico al Arquitecto Alirio Azael Pérez Jurado, correo: amy.uaci@gmail.com, tel. celular 7595-7585.

Aprovecho la ocasión para saludarle muy cordialmente.

JOSÉ SALVADOR HANDAL CANDRAY
Secretario Ejecutivo



Anexo No.2: Carta de Solicitud a Empresa Eléctrica de Oriente (EEO), Distribuidora de Usulután y San Miguel (DEUSEM)



ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Ciudad Universitaria, 13 de noviembre de 2020

Ingeniero
Edwin Gálvez
Gerente General AES Región Oriente
Empresa Eléctrica de Oriente (EEO)
Distribuidora de Usulután y San Miguel (DEUSEM)
Presente.

Ref. EP-0226-2020

Respetable Ing. Gálvez:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en el desarrollo de su gestión y actividades personales.

Por este medio hago de su conocimiento que los Ingenieros: Neil Edmundo Gutiérrez Mendoza y Oscar Abdala Reyes Romero, son maestrantes del programa de Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente, actualmente desarrollando su trabajo de graduación titulado: USO EFICIENTE DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES A ESCALA DOMÉSTICA EN ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE YUCAIQUÍN, este municipio se encuentra ubicado en el departamento de La Unión. Para esta finalización los estudiantes deberán seleccionar una vivienda rural que no cuente con energía eléctrica a fin de evaluar la factibilidad técnica y económica de la aplicación de 3 tecnologías a partir de fuentes no convencionales de energía, a saber: Sistema Fotovoltaico, Digestor anaeróbico para producción de biogás y bioabono y estufas ahorradoras de leña.

En ese sentido solicitamos su apoyo, autorizando se les facilite información a nuestros Maestrantes sobre las zonas de cobertura y potencia de la red de distribución eléctrica de EEO y DEUSEM en el Municipio de Yucuaiquín, Departamento de la Unión, y de ser posible, sobre los caseríos que aún no disponen en su totalidad del servicio de energía eléctrica en dicho Municipio lo cual representará un valioso aporte en la investigación.

La información proporcionada será utilizada con fines académicos. No obstante, aclaramos que las publicaciones de tesis se vuelven de dominio público.

En espera de una resolución favorable, me suscribo.

HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA



Maestro Manuel Montejo
Director de la Escuela de Posgrado – FIA

/rdch

Final Av. "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Apdo. Postal 740 -Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería y Arquitectura
WEB: <http://www.fia.ues.edu.sv/posgrado/> - E-MAIL: uposgrados@fia.ues.edu.sv - Telefax: (503) 2235-0235

Anexo No.3: Carta Solicitud Alcaldía Municipal de Yucuaiquín



ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Ciudad Universitaria, 30 de septiembre de 2020

Señor
Oscar Mendoza
Alcalde
Alcaldía Municipal de Yucuaiquín
La Unión

Ref. EP-0186-2020

Respetable señor Alcalde:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en el desarrollo de su gestión y actividades personales.

Por este medio hago de su conocimiento que los Ingenieros: Neil Edmundo Gutiérrez Mendoza y Oscar Abdala Reyes Romero, son maestrantes del programa de Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente, actualmente desarrollando su trabajo de graduación titulado: USO EFICIENTE DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES A ESCALA DOMÉSTICA EN ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE YUCUAIQUÍN. Para esta finalidad los estudiantes deberán seleccionar una vivienda rural que no cuente con energía eléctrica para evaluar en la misma, la factibilidad técnica y económica de la aplicación de 3 tecnologías a partir de fuentes no convencionales de energía, estas son: estufas ahorradoras de leña, digestión anaeróbica para producción de biogás y bioabono, y sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica.

En base a lo expuesto solicitamos de su atenta colaboración en el sentido de autorizar para que les proporcionen información a nuestros Maestrandos sobre cuales caseríos de su Municipalidad, cuentan con viviendas sin servicio de energía eléctrica, así como, facilitar información sobre diagnósticos de necesidades, estudios, planes, proyectos o programas existentes o en ejecución de parte de la Municipalidad u otras entidades al respecto del desarrollo local o sobre las tecnologías antes mencionadas o similares, vías de acceso y aspectos de seguridad.

La información proporcionada será utilizada con fines académicos. No obstante, aclaramos que las publicaciones de tesis se vuelven de dominio público.



Pág. 2-2/Ref. EP-186-2020.

Los resultados de este trabajo de graduación, serán presentados a la Alcaldía a fin de que dispongan de información que les sea útil para el fomento de las energías renovables en su localidad.

En espera de una resolución favorable, me suscribo.

HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA



Maestro Manuel Montejo
Director de la Escuela de Posgrado – FIA

/rdch



Anexo No.4: Contenido de la Encuesta

ENCUESTA

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN: Tesis de Maestría “Uso eficiente de energías renovables no convencionales a escala doméstica en área rural del municipio de Yucuaiquín.”

CENTRO DE ESTUDIO QUE RESPALDA LA INVESTIGACIÓN: Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador (FIA-UES), en marco de la Maestría de Energía Renovable y Medio Ambiente (MERMA).

OBJETO DE ESTUDIO: Municipio de Yucuaiquín, departamento de La Unión.

RESPONSABLES DE LA INFORMACION IDENTIFICADA:

Maestrandos:

Oscar Abdalá Reyes

Neil Edmundo Gutiérrez

Asesora de tesis: Ana María González de Menjívar

FECHA DEL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN: De Octubre 2020 a Marzo 2021

Nombre Persona entrevistada: _____

Dirección (número de casa): _____

Ubicación de casa: _____

Caserío: _____

Cantón: _____

PARTE 1: SOCIOECONÓMICA, CULTURAL Y MEDIOAMBIENTAL

1) ¿Sobre la tenencia de su vivienda?

Propia: _____

Alquilada: _____

Otro: _____

2) ¿Sobre grupo familiar que habita en vivienda permanentemente?

Número de Personas	Edad	Parentesco	Nivel de estudio	Sabe leer (si/no)	Oficio a que se dedica
1					
2					
3					
4					
5					
6					
Más de 6					

Nota: Persona entrevistada colocar un círculo en parentesco.

3) ¿Cuál es su principal fuente de ingresos económicos en su grupo familiar?

4) ¿Existen Asociaciones de Desarrollo Comunal (ADESCO) en su Comunidad?

No Si

5) ¿Sabe Usted si existen ONG's que estén o hayan venido a apoyar a su comunidad en algún proyecto o necesidad?

No Si

6) ¿Posee energía eléctrica en su vivienda?

No Si

7) ¿Si su respuesta a la pregunta anterior es NO, indique las causas por la que no cuenta con el servicio de energía eléctrica en su vivienda?

8) ¿Indique las necesidades que desea atender con el servicio de energía eléctrica en su vivienda, y si cuenta con dicho servicio indique las necesidades que ya cubre?

Equipos eléctricos y electrónicos	Necesita (Indique Cantidad)	Tiene (Indique Cantidad)
Iluminación (Lámparas o bombillos, etc.)		
Ventilador		
Radio		
Televisor		
DVD		
Computador		
Impresora		
Celular		
Motobomba		
Licuada		
Refrigerador		
Otros ¿Cuáles?		

9) De contar la vivienda con el servicio de energía eléctrica y con ello dejar de consumir los sustitutos energéticos como leña, gas, etc., para iluminarse, ¿Usted estaría dispuesto a pagar una tarifa mensual?

No Si

10) ¿Si posee celular, especificar con o sin internet?

No Si , Con internet Sin internet

11) ¿De qué material está construida las paredes de su vivienda?

- Bloque, Ladrillo
- Adobe, bahareque
- Madera
- Otros

12) ¿De qué material está construido el techo de tu vivienda?

- Paja
- Lámina (Estructura Metálica)
- Teja

13) ¿Cuentan con agua potable para consumo humano y otros usos?

No Si

14) ¿Cuál es su fuente de agua?

- Quebrada o río
- Pozo profundo con motobomba a base de combustible.
- Pozo artesanal
- Agua Lluvia
- Red de ANDA

15) ¿Qué tipo de servicio sanitario posee la vivienda?

- Inodoro conectado alcantarillado
- Inodoro conectado a fosa séptica
- Letrina
- Otro: _____

16) ¿Cuál es el tipo de combustible que utiliza principalmente para la cocción de alimentos?

Sustituto energético para cocinar	Unidad de Medida	Fuente de obtención	Consumo Mes	Costo aproximado al mes (US\$)
Gas propano				
Leña				
Residuos del Agro				
Otros (especificar)				

17) ¿Dónde obtiene la leña que utiliza en su hogar?

18) ¿Quién recolecta la leña en su hogar?

19) ¿Cuánto tiempo gasta para recolectar leña?

20) ¿Es difícil obtener leña?

No Si

21) ¿Usted o algún miembro de su familia ha presentado problemas de salud por el uso de leña en su hogar? Por ejemplo problemas respiratorios.

No Si

22) ¿Planea implementar algún proyecto productivo o emprendimiento?

No Si

23) Si contesto Si, ¿Cuál proyecto productivo o emprendimiento desea?

24) ¿Se requiere energía eléctrica para el proyecto productivo o emprendimiento que desea implementar?

25) ¿Cuál es la manera de eliminar los desechos sólidos generados en su vivienda?

Recolección por la Alcaldía

Quemados

Entierran

Especifique Otros: _____

26) ¿Cuenta con animales de granja? Especifique cuales y las cantidades aproximadas.

Cerdos Cantidad: _____

Gallinas Cantidad: _____

Vacas Cantidad: _____

Cabras Cantidad: _____

Especifique Otros: _____

27) ¿Cuál es la finalidad de tener los animales de granja mencionados anteriormente?

28) ¿En qué lugar tiene los animales de granja mencionados en la pregunta 27?

29) ¿Qué tipo de alimentación les brinda a sus animales de granja?

Cerdos Tipo de alimentación: _____

Gallinas Tipo de alimentación: _____

Vacas Tipo de alimentación: _____

Cabras Tipo de alimentación: _____

Especifique Otros: _____

30) ¿Cuenta con cultivos agrícolas?

No Si

31) ¿Si su respuesta a la pregunta anterior fue afirmativa, especifica qué tipo de cultivos tiene?

32) ¿Qué tipo de abono aplica a sus cultivos agrícolas?

33) ¿Usa el equipo de protección adecuado para aplicar algún tipo de abono o pesticida?

PARTE II

CONOCIMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES.

34) ¿Conoce Usted que son los sistemas solares fotovoltaicos para generación de electricidad?

No Si

35) Si no conoce ¿Le gustaría conocer?

No Si

36) Si su respuesta anterior fue Sí. ¿Por qué medio le gustaría recibir información sobre sistemas solares fotovoltaicos?

Taller comunitario

Folleto impreso

Medios digitales

Especifique Otros: _____

37) ¿Le gustaría contar con un sistema solar fotovoltaico en su hogar, para generación de electricidad?

No Si

38) ¿Conocen Usted que es un Biodigestor?

No Si

39) ¿Sabe Usted para que se utiliza el Biogás generado en un Biodigestor?

No Si

40) Si no conoce ¿Le gustaría conocer?

No Si

41) Si su respuesta anterior fue Sí. ¿Por qué medio le gustaría recibir información sobre la generación de Biogás en Biodigestores?

Taller comunitario

Folleto impreso

Medios digitales

Especifique Otros: _____

42) ¿Le gustaría contar con un Biodigestor para la generación de Biogás en su hogar?

No Si

43) ¿Conoce Usted sobre estufas de fuego cerrado ahorradoras de leña ?

No Si

44) Si no conoce ¿Le gustaría conocer?

No Si

45) Si su respuesta anterior fue Sí. ¿Por qué medio le gustaría recibir información sobre estufas de fuego cerrado?

Taller comunitario

Folleto impreso

Medios digitales

Especifique Otros: _____

46) ¿Le gustaría contar con una estufa ahorradora de leña en su hogar?

No Si