



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

## TESIS

### “TECNOLOGÍAS TERMOSOLARES Y BIOENERGÉTICAS Y SU CONTRIBUCIÓN AL DESARROLLO SUSTENTABLE DE COMUNIDADES RURALES MARGINADAS DE CHIAPAS”

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**DOCTOR EN CIENCIAS EN  
DESARROLLO SUSTENTABLE**

PRESENTA

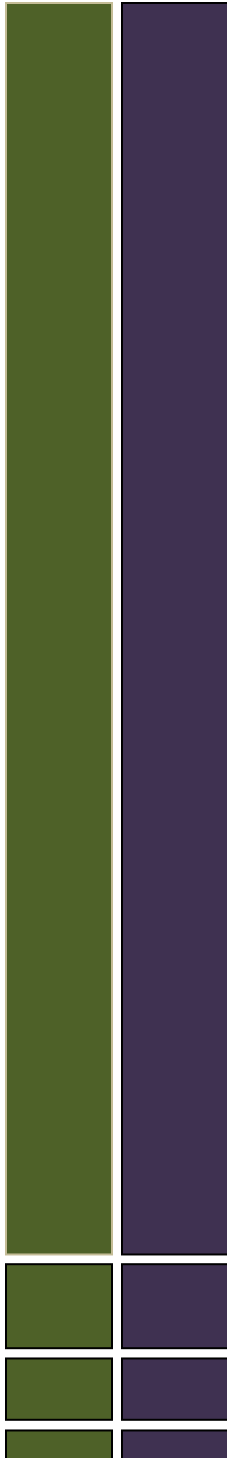
**NEÍN FARRERA VÁZQUEZ**

**DIRECTORES**

DR. JOEL PANTOJA ENRIQUEZ  
DR. JOEL MOREIRA ACOSTA

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

Agosto 2011.



---

## **AGRADECIMIENTOS**

El proceso de crecimiento intelectual científico-técnico, pero sobre todo humano, que me ha regalado el doctorado, tiene que ser profundamente agradecido.

En primer lugar, agradezco el tiempo y apoyo que me dieron mi esposa y mi hijo para realizar este posgrado. Sin la estabilidad y el amor que siempre me dan, no lo hubiera logrado. Agradezco a mis padres y hermanos que siempre que los necesito están conmigo sin esperar nada a cambio.

Agradezco a quienes me apoyaron para ingresar al Doctorado recomendándome y asesorándome. Especialmente a los Doctores Ignacio Enrique Peón, Francisco Aceves, Luis Manuel Hernández y Jan de Vos (QEPD).

Agradezco a quienes fueron parte del proceso formativo, a los docentes de los cursos, seminarios, sesiones integradoras, administrativos y directivos de la UNICACH, donde me siento como en casa.

Agradezco a la Universidad del Valle de México, el tiempo y el espacio que me dieron en especial a la Rectora Rocío Oliver y al Director de Ingeniería Mario Ángel Pola, que me ayudaron a romper paradigmas al interior de nuestra

---

---

institución. Asimismo quiero agradecer a mis compañeros académicos, con quienes trabajé en equipo en algunas partes del proyecto de investigación.

Agradezco a los miembros de mi comité tutorial su tiempo y apoyo, a los Doctores Carlos Uriel del Carpio Penagos, Guillermo Ibáñez Duharte Juan Andrés Reyes Nava y Sebastian Pathiyamatton Joseph.

Quiero mencionar a mis compañeros del Doctorado, agradezco su apoyo y el tiempo que compartimos en los trabajos y proyectos que realizamos especialmente a Hugo y a Adriana. Espero que podamos continuar trabajando en equipo.

También quiero mencionar a los estudiantes que participaron, tanto en el trabajo de campo como en la construcción y evaluación de prototipos, quienes también vieron las posibilidades y oportunidades que tenemos al realizar este trabajo desde la ciencia.

Igualmente, a los miembros de de las comunidades indígenas, tanto de Monte Horeb como Nuevo Amanecer Tenejapa, agradezco su participación, actitud, hospitalidad y cariño que nos llevamos los que participamos en este proyecto.

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas por el apoyo para que el doctorado se creara y para concluir la tesis, al Consejo

---

---

Nacional de Ciencia y Tecnología por financiar el proyecto para realizar el trabajo en las Comunidades Rurales de Cintalapa, Chiapas, al H. Ayuntamiento Municipal de Cintalapa por facilitarnos el trabajo en el Municipio y al Instituto de Desarrollo Social (INDESOL) por el apoyo y confianza en el proyecto global de Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales Marginadas.

Por último, agradezco sinceramente a los que fortalecieron y modificaron mi visión de la investigación y con quienes viajé por este trayecto tan importante en mi vida académica, al Dr. Joel Pantoja Enríquez y al Dr. Joel Moreira Acosta. Su guía y amistad, pero sobre todo el liderazgo y ejemplo me movieron a lograr objetivos, que jamás hubiera realizado sin ellos. Asimismo, agradezco a mi compañero Pascual López de Paz, con quién trabajamos en equipo en el proyecto integral de desarrollo sustentable de comunidades rurales, y con quién disfrutamos y sufrimos todo este proceso.

---

---

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis muestra el desarrollo de tres tecnologías que están enfocadas a contribuir al Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales Marginadas, para lo cual se tomó de referencia una comunidad Indígena del municipio de Cintalapa, Chiapas, con características de marginación y pobreza similares a las que existen en los 28 municipios más pobres del Estado.

Las tecnologías se desarrollaron a partir de la problemática y necesidades que los habitantes de la comunidad Monte Horeb determinaron y a características de alta durabilidad y eficiencia que se requieren para resistir las condiciones de trabajo y ambientales de las zonas rurales. En el capítulo de Métodos, se presenta todo el proceso de intervención, incluyendo el desarrollo tecnológico con los diseños experimentales. Posteriormente, se muestran resultados de las evaluaciones hechas a la Estufa Multifuncional Ahorradora, el Secador Solar Multipropósito y el Biodigestor Rígido propuestos. Estos resultados demuestran los beneficios que se tendrán en los aspectos de salud, ecología, economía y seguridad alimentaria.

---

---

## **AGRADECIMIENTOS**

## **RESUMEN**

## **ÍNDICE**

## **INTRODUCCIÓN**

<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problemática Energética y Cambio Climático</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Energías Renovables y su Potencial Aprovechable</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Energías Renovables en México y en Chiapas</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1 Energía Solar</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2 Bioenergía o Energía de la Biomasa</b>	<b>12</b>
<b>1.4 Problemática Energética en las Comunidades Rurales y su Relación con el Desarrollo</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas para Comunidades Rurales</b>	<b>21</b>
<b>1.5.1 Secadores Solares</b>	<b>21</b>
<b>1.5.2 Calentadores Solares de Agua</b>	<b>24</b>
<b>1.5.3 Purificadores Solares de Agua</b>	<b>27</b>
<b>1.5.4 Estufa de Concentración Solar</b>	<b>27</b>
<b>1.5.5 Estufas Ahorradoras de Leña</b>	<b>29</b>
<b>1.5.6 Biodigestores</b>	<b>31</b>
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b>	<b>33</b>
<b>2.1 Metodologías de Desarrollo Comunitario</b>	<b>33</b>

---

---

<b>2.2 Fundamentos Teóricos de las Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas Desarrolladas</b>	
<b>2.2.1 Secadores Solares</b>	<b>36</b>
<b>2.2.1.1 Evaluación de los Secadores Solares</b>	<b>38</b>
<b>2.2.2 Estufas Eficientes y Ahorradoras de Leña</b>	<b>44</b>
<b>2.2.2.1 Principios de Diseño</b>	<b>44</b>
<b>2.2.2.2 Evaluación de Estufas Eficientes de Leña</b>	<b>48</b>
<b>2.2.3 Biodigestores</b>	<b>55</b>
<b>2.2.3.1 Características de los biodigestores anaerobios</b>	<b>56</b>
<b>2.3 Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas para Comunidades Rurales y su Contribución al Desarrollo Sustentable</b>	<b>57</b>
<b>3. MÉTODOS</b>	<b>63</b>
<b>3.1 Proceso General de Intervención</b>	<b>63</b>
<b>3.1.1 Selección de la Comunidad</b>	<b>64</b>
<b>3.1.2 Primera Reunión con la Comunidad</b>	<b>66</b>
<b>3.1.3 Visitas de Campo</b>	<b>66</b>
<b>3.1.4 Encuesta</b>	<b>68</b>
<b>3.1.5 Entrevistas</b>	<b>69</b>
<b>3.1.6 Análisis de Datos Socioeconómicos y de los Potenciales Energéticos</b>	<b>70</b>
<b>3.1.7 Reunión con la Comunidad para Determinar Necesidades y Jerarquizarlas</b>	<b>71</b>
<b>3.1.8 Propuestas de Tecnologías</b>	<b>74</b>

---

---

<b>3.1.8.1 Conceptualización de la Estufa Multifuncional Ahorradora</b>	<b>76</b>
<b>Lekil Vaj</b>	
<b>3.1.8.2 Conceptualización del Secador Solar para Productos Agrícolas</b>	<b>80</b>
<b>3.1.8.3 Conceptualización del Biodigestor Rígido</b>	<b>82</b>
<b>3.1.9 Pruebas iniciales</b>	<b>83</b>
<b>3.1.10 Evaluaciones finales</b>	<b>84</b>
<b>3.1.10.1 Diseños Experimentales de las tecnologías termosolares y bioenergéticas</b>	<b>85</b>
<b>3.1.10.1.1 Secador solar: Diseño Experimental</b>	<b>85</b>
<b>3.1.10.1.2 Estufa Multifuncional Ahorradora</b>	<b>86</b>
<b>3.1.10.1.3 Biodigestor Rígido</b>	<b>87</b>
<b>3.2 Área de Estudio</b>	<b>88</b>
<b>3.2.1 Localización</b>	<b>88</b>
<b>3.2.2 Orografía</b>	<b>90</b>
<b>3.2.3 Geología</b>	<b>91</b>
<b>3.2.4 Hidrografía</b>	<b>92</b>
<b>3.2.5 Climas</b>	<b>93</b>
<b>3.2.6 Vegetación y uso de Suelo</b>	<b>93</b>
<b>3.2.7 Fauna</b>	<b>93</b>
<b>3.2.8 Situación Socioeconómica</b>	<b>93</b>
<b>3.3 Diagnóstico de los Potenciales Energéticos Termosolares y</b>	<b>97</b>

---



---

## **Bioenergéticos**

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>99</b>
<b>4.1 Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj</b>	<b>99</b>
<b>4.1.1 Prototipo de la Estufa Lekil Vaj</b>	<b>99</b>
<b>4.1.2 Evaluación del Prototipo de la Estufa Lekil Vaj</b>	<b>102</b>
<b>4.1.2.1 Evaluación en Vacío</b>	<b>103</b>
<b>4.1.2.2 Evaluación con Carga</b>	<b>108</b>
<b>4.1.3 Prototipo de Estufa Ahorradora de Leña Lekil Vaj con Cubierta de Madera</b>	<b>111</b>
<b>4.2 Construcción del Prototipo y Evaluación de un Secador Solar Multipropósito</b>	<b>113</b>
<b>4.2.1 Construcción del Prototipo de un Secador Solar</b>	<b>113</b>
<b>4.2.2 Evaluación del Prototipo de Secador Solar</b>	<b>116</b>
<b>4.2.1.1 Evaluación en Vacío</b>	<b>116</b>
<b>4.2.1.2 Evaluación con Carga</b>	<b>123</b>
<b>4.3 Diseño y Construcción de un Biodigestor Rígido</b>	<b>125</b>
<b>4.3.1 Construcción del Prototipo de Biodigestor Rígido</b>	<b>125</b>
<b>4.3.2 Evaluación del Prototipo de Biodigestor</b>	<b>129</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>134</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO 1. Principios Generales para el Desarrollo e Implementación de Tecnologías Apropriadas</b>	
<b>ANEXO 2. Cuestionario Encuesta y</b>	

---

---

**ANEXO 3. Gráficas de la Situación Socioeconómica y de los  
Potenciales Energéticos**

**ANEXO 4. Entrevistas**

**ANEXO 5. Historia Fotográfica del Trabajo de Campo**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

---

### INTRODUCCIÓN

Chiapas tiene 20 de los 100 municipios con menor Índice de Desarrollo Humano en México, aún siendo un estado rico en recursos naturales, gran parte de su población no tiene servicios básicos ni tecnologías que mejoren sus condiciones de vida. Las características sociales, culturales y geográficas de gran complejidad no han permitido que los programas gubernamentales impacten de manera positiva en la mayoría de los indicadores de los organismos nacionales e internacionales. La situación de marginación está focalizada en las zonas rurales, y lo que es un buen indicador biológico, la diversidad y la dispersión, no lo es para la vida humana moderna, y algo de la complejidad de Chiapas está relacionada con estas condiciones.

La energía renovable es una de las alternativas más adecuadas para contribuir al Desarrollo Sustentable de las Comunidades de Alta Marginación en el Estado de Chiapas, debido a su alta disponibilidad y a su capacidad de ser utilizada de forma cíclica sin dañar el ecosistema en el cual se encuentran. En especial los recursos bioenergéticos y termosolares disponibles en las comunidades pueden ser aprovechados mediante el uso de tecnologías eficientes y económicamente accesibles, desarrolladas con la participación consciente y activa de los habitantes de estos lugares para satisfacer sus necesidades energéticas-productivas y energéticas-sociales.

En este sentido, los objetivos e hipótesis de la presente tesis son los siguientes:

### **Objetivo General**

- Diseñar, construir y evaluar tecnologías bioenergéticas y termosolares para la comunidad rural indígena Monte Horeb, del Municipio de Cintalapa, Chiapas, para contribuir a su desarrollo sustentable.

### **Particulares**

- Diagnosticar las necesidades y los potenciales energéticos térmicos de la comunidad
- Diseñar tecnologías termosolares y bioenergéticas de acuerdo a las necesidades identificadas y a los potenciales energéticos
- Construir prototipos de las tecnologías desarrolladas
- Evaluar el desempeño técnico de los sistemas desarrollados

### **Hipótesis**

Las tecnologías termosolares y bioenergéticas desarrolladas para la comunidad Monte Horeb, contribuyen a disminuir sus altos índices de marginación y pobreza, de forma respetuosa con el medio ambiente, con un enfoque de solución integral y sistémica. La estufa Lekil Vaj satisface las necesidades de la población de cocción de alimentos, ahumado de productos alimenticios y calentamiento de agua para uso sanitario, además de eliminar los impactos negativos sobre la salud y el ecosistema. El secador solar desarrollado mejora la calidad y disminuye el tiempo de secado de

los productos que requieren de este proceso y el biodigestor desarrollado disminuye la contaminación producida por el excremento humano y animal de la comunidad y produce suficiente biogás para una vivienda típica.

En el capítulo 1 se presentan los antecedentes: la problemática mundial y local de la energía y las posibilidades de aprovechar las energías renovables para mejorar las condiciones de vida de las comunidades rurales, en particular a partir de tecnologías termosolares y bioenergéticas, por lo que el último apartado es una revisión de la situación actual de estas tecnologías.

El capítulo 2 es la fundamentación teórica, la perspectiva metodológica y los principios científicos de las tecnologías desarrolladas, concluyendo con un análisis sobre la relación de las tecnologías termosolares y bioenergéticas con el desarrollo sustentable.

En el capítulo 3 se presentan los métodos, que incluyen las etapas del proceso de intervención para llegar a la definición de las tecnologías propuestas, con la explicación del proceso de desarrollo de las tecnologías en función de las características de la comunidad seleccionada y de las necesidades sociales y productivas detectadas y jerarquizadas. Además se incluyen los diseños experimentales de las tres tecnologías propuestas que se enfocan a medir eficiencia y funcionalidad. Se presenta también la ubicación geográfica y las características generales de la comunidad seleccionada.

En el capítulo 4 se presentan los resultados: prototipos de estufa multifuncional ahorradora, secador solar multipropósito y biodigestor rígido así como las evaluaciones de eficiencia y desempeño tecnológico, donde se compararan estas tecnologías, las utilizadas en la comunidad de referencia y otras similares. Por último el capítulo 5 presentan las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Problemática Energética y Cambio Climático

Los mayores problemas actuales que el ser humano y los seres vivos del planeta enfrentamos son el cambio climático y sus efectos, el agotamiento de los combustibles no renovables (principalmente los de origen fósil) y los desastres provocados por su extracción y transportación, el crecimiento exponencial de la población, la pobreza de tres cuartas partes de la población mundial (Castro 2006), los desastres nucleares de los últimos tiempos (Chernóbil y Fukushima), la descomposición social y los conflictos armados. Todos estos problemas tienen relaciones entre sí, y en algún punto tienen que ver con la energía y la tecnología.

Específicamente en el caso de la energía, Según Castro F. (2006): datos publicados por la World Energy Outlook (WEO) señalan que casi 1.6 mil millones de habitantes en los países en vías de desarrollo no tienen acceso a electricidad, y la población de África Sub-sahariana estará todavía sin electricidad en los próximos años. El número de personas que dependen de combustibles tradicionales para cocinar y calentarse crecerá de 2.4 mil millones en 2002 a más de 2.6 mil millones en 2030. Además 1.6 millones de mujeres y niños en los países en vías de desarrollo, mueren por efecto de humo de las estufas biomasa.

Por la problemática mundial, las metas de desarrollo del Milenio de la ONU para el 2015, incluyen la reducción a la mitad de la proporción de las personas del mundo que se mantienen viviendo con menos de \$1 dólar por día. Es muy improbable que ese objetivo se logre a menos que la electricidad se pudiera suministrar a otros 500 millones de personas (Castro F. 2006, ONU 2010).

Respecto al consumo global de energía, actualmente a nivel mundial, cerca del 87% de la energía primaria total actual proviene de combustibles fósiles como el carbón (21%), el gas natural (33%) y el petróleo (33%), la hidráulica y nuclear un 6% y alrededor de 1% de las renovables. Es conveniente anotar además que solo el 35% de esa energía se emplea. El resto, las 2/3 partes se convierten en desechos y otras pérdidas; además los principales usuarios finales son: el sector industrial (30%), y el sector residencial y terciario (25%), el transporte (30%) y correspondiendo a pérdidas el 15% (Castro 2006).

Por otro lado, el principal problema ecológico actual es el calentamiento global, esta situación se trató en el informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de la Organización de las Naciones Unidas a principios del 2007 (IPCC 2007). En este informe se dice que el calentamiento global es real, el nivel de los océanos está aumentando, existen variaciones en la temperatura global a la alza y que es provocado por la actividad humana. Estas actividades antropogénicas se reflejan en el gran consumo de combustibles fósiles y a otros factores relacionados con la actividad humana, la emisión de gases de dichos combustibles son los que



principalmente provocan un efecto invernadero en la atmósfera terrestre y esto a la vez provoca un calentamiento global, de los doce años entre 1995 y 2006, once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal en 100 años entre 1906-2005, cifrada en 0,74°C [entre 0,56°C y 0,92°C] es superior a la tendencia correspondiente en 100 años entre 1901-2000, de 0,6°C [entre 0,4°C y 0,8°C] indicada en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (IPCC 2007).

Respecto al Cambio Climático, en años recientes, el estado de Chiapas ha experimentado una serie eventos hidro-meteorológicos que han generado desastres y graves daños, poniendo de manifiesto la vulnerabilidad del Estado. Entre estos fenómenos destacan la tormenta tropical Larry que entre septiembre y octubre de 2003 afectó a 52,885 y dañó 10,577 viviendas y el huracán Stan que dejó saldos de 86 muertos, 162,570 personas afectadas, 32,514 viviendas dañadas, 305 escuelas perjudicadas, 208,064 ha de cultivo y/o pastizales deterioradas y 5,669 km de caminos afectados; daños que sumaron un total 15,031 millones de pesos en 2008. Sólo en 2010, Chiapas sufrió afectaciones y desastres notables por fenómenos meteorológicos extremos en 51 de los 118 municipios fuente (SEMAVIHN, 2010).

En Chiapas, las principales actividades emisoras de GEI durante el año 2005 tienen que ver con el campo y con el uso de energéticos, contrario a lo que ocurre en otras regiones del País. El 59% de las emisiones estatales provienen de la deforestación y degradación de bosques y selvas; el 19% de la ganadería y la agricultura, mientras

que el sector energético, genera el 15%, principalmente por consumo de combustibles fósiles (Figura 1.1). Por su parte, el sector desechos aporta un 6%, que básicamente provienen de las aguas residuales y residuos sólidos (Informe del Programa de Acción ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas “PACCCH” 2010).

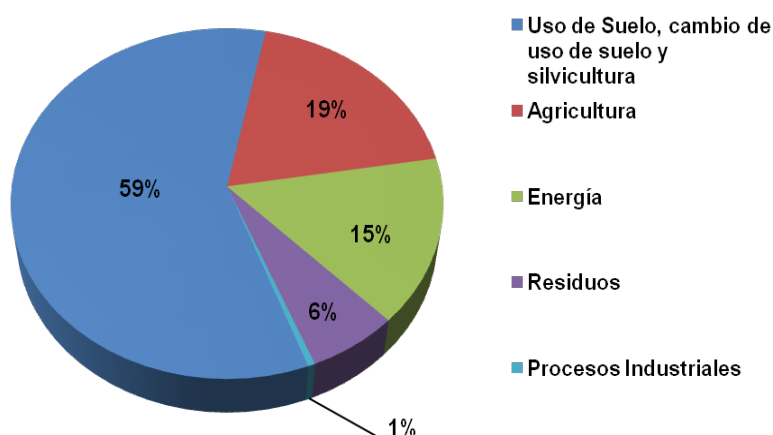


Figura 1.1.1. Gases de Efecto Invernadero en Chiapas. Gráfica: PACCCH 2010

Se puede observar el cambio climático en el estado a partir de las proyecciones hechas por el PACCCH 2010. En los que se compara los escenarios proyectados con las temperaturas actuales observadas en el Estado, bajo condiciones de cambio climático se prevé un aumento de 3 °C y hasta 3.4 °C en las temperaturas medias; y de 3°C hasta 3.6°C para las máximas en las regiones Centro, Frailesca, Fronteriza, Sierra y Altos. Para la temperatura mínima se esperan probables incrementos de entre 2.5°C y 2.8°C en las regiones Centros, Altos, Frailesca, Fronteriza, Sierra y

Norte y de 2.3°C hasta 2.5 en las regiones Istmo-Costa, Soconusco y Selva en Chiapas (Figura 1.1.2)

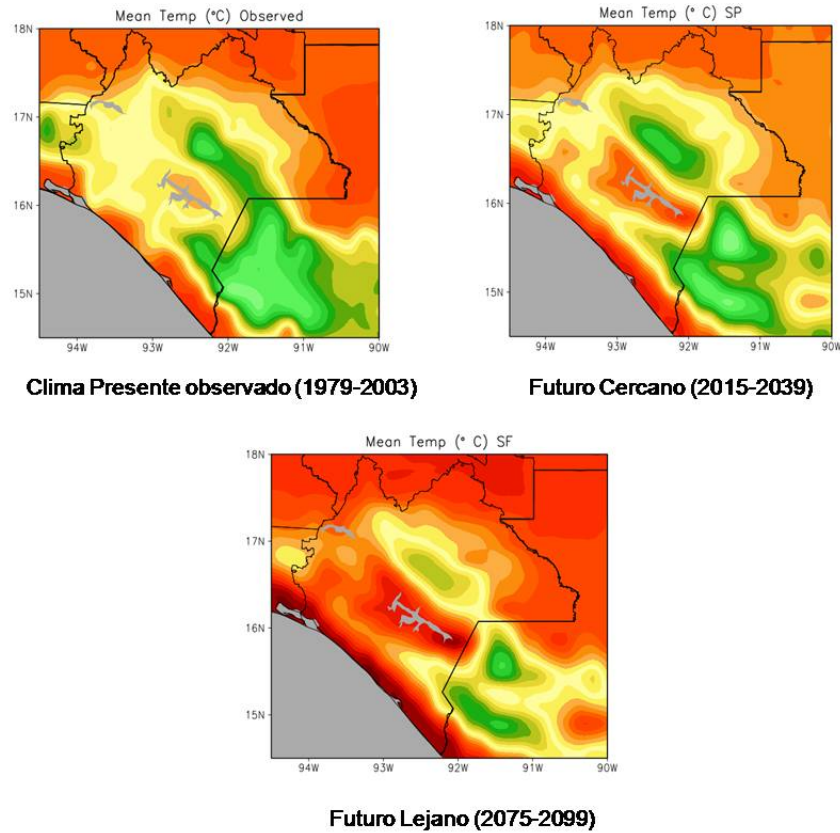


Figura 1.1.2. Temperatura actual y proyectada en Chiapas. PACCCCH 2010

Esta problemática mundial, tiene múltiples factores detonantes y vínculos, pero la relación entre energía, cambio climático y pobreza es clara, así como estratégico es orientar los esfuerzos de los gobiernos y sociedad hacia un desarrollo sustentable utilizando energías renovables para contribuir a la solución.

## 1.2 Energías Renovables y su Potencial Aprovechable

La energía del sol es inagotable comparada con el tiempo de vida de todo organismo que habita la tierra, la cantidad que llega al planeta es del orden de 173,000 Tw, lo que equivale a 4,500 veces la energía que el hombre consume, y por lo mismo se considera renovable (Creus 2004). Además es energía limpia, en este sentido se puede decir que como principal ventaja no emite gases de efecto invernadero, como el CO<sub>2</sub>, metano, óxidos de nitrógeno y clorofluorocarbonos "CFC" (Ribot 2001). La energía del sol realmente es la fuente original de casi toda la que existe en nuestro planeta. La energía de la biomasa, por ejemplo, es producto del proceso de fotosíntesis en las plantas (1% de rendimiento), las cuales obtienen la energía de la radiación solar y luego puede ser utilizada como combustible de forma simple como la leña o de forma más compleja como el biodiesel o bioetanol o utilizarse como alimento para animales y personas. También sucede con la energía eólica que es producto de la diferencia de presión que produce la radiación solar, la energía del mar en forma de mareas, corrientes marinas, etc. Inclusive los combustibles fósiles originalmente fueron materia orgánica que con el paso del tiempo se convirtieron en petróleo o gas (Perales 2006).

La energía puede clasificarse como renovable o no renovable. La primera está regida por el ciclo solar y persistirá hasta el agotamiento del Sol, lo que ocurrirá dentro de 6000 millones de años. La energía renovable puede encontrarse en forma de radiación solar, eólica, biomasa, hidráulica (micro y minihidráulica), marítima y

geotérmica. La energía no renovable es aquella que se produce a consecuencia de recursos energéticos formados en épocas remotas de la historia de la tierra, siendo sus reservas limitadas, y su característica principal es que no se producen actualmente, o su producción requiere de mucho tiempo y su uso excesivo llevará a su agotamiento en un tiempo relativamente corto (Ribot 2001). La no renovable es el petróleo, carbón y gas natural. En la figura 1 se puede observar la disponibilidad de estas.

En la Figura 1.2.1 se puede observar la disponibilidad en la tierra tanto de la energía renovable como de la no renovable.

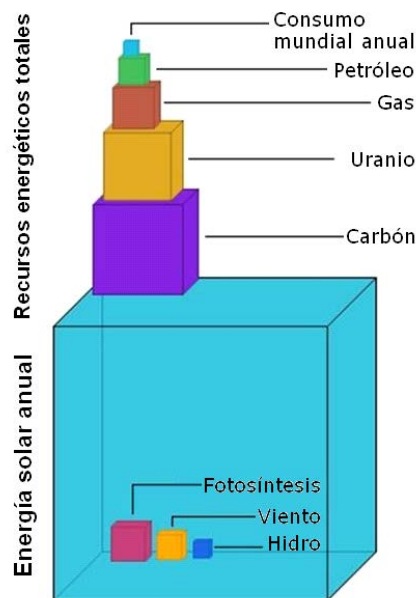


Figura 1.2.1. Comparación de las no renovables con la energía solar que se recibe en la Tierra anualmente. Fuente: La revista solar, ANES 2005.

Aunque se sabe de las grandes posibilidades de la energía renovable como parte importante de la solución a la problemática energética y ecológica mundial, todavía hay que desarrollar y/o mejorar tecnologías que aprovechen dichas energías y una cultura de sustentabilidad, en la que se plantee la apropiación y evolución de las mismas que garanticen el aprovechamiento permanente y racional de los recursos naturales.

### **1.3 Energías Renovables en México y Chiapas**

El uso de las energías renovables en México se ha impulsado desde hace varias décadas, a las que se les ha dado mayor importancia es la fotovoltaica, termosolar, eólica, geotérmica, minihidráulica y biomasa (Sánchez 2002, Azteca Solar 2004, Secretaría de Energía 2006, Torres y Gómez 2006, Finck 2008).

En el caso de la energía microhidráulica, existe poco desarrollo en México, tres de las centrales que se han instalado, están operando en los estados de Veracruz y Jalisco con una capacidad instalada de 16 MW, que generan un total de 67 GWh/año. Adicionalmente están en operación tres centrales híbridas (minihidráulicas-gas natural) en los estados de Veracruz y Durango. En Chiapas existe gran potencial dado la gran cantidad de corrientes de agua que existen en diferentes zonas del estado.

Por otro lado, se ocupa el tercer lugar mundial en capacidad de generación de energía geotérmica, con 960 MW instalados, con los que se generan más de 6,500 GWh/año (Torres y Gómez 2006). La CFE estima que el potencial geotérmico permitiría instalar otros 2,400 MW (Secretaría de Energía 2005).

La energía eólica ha tenido una evolución importante en términos de capacidad y eficiencia, en 1997 la turbina promedio era de 600 a 750 kW. Para el 2005 ya existen en el mercado a nivel comercial turbinas con capacidades entre 2 y 3 MW, así como prototipos de hasta 6 MW. El diámetro llegaba a 80 metros en 2000, hoy llega a los 120 metros (Torres y Gómez 2006). En el 2004 en México se tenían instalados 3 MW; 2 MW en la zona sur-sureste y 1 MW en la zona noreste, con los que se generaron 6 GWh de electricidad (Secretaría de Energía 2006).

### **1.3.1 Energía Solar**

En México la radiación solar promedio es de 5kWh/m<sup>2</sup> al día, una de las mejores del mundo, si aprovecháramos esta radiación en un cuadrado de 28 kilómetros de longitud por lado en el desierto de Sonora, cubierto por celdas solares fotovoltaicas de 10% de eficiencia, satisfaría la demanda promedio diaria actual de energía eléctrica de todo el México que es de 550 GWh/día (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República, Centro de Investigación en Energía UNAM 2004).

Las tecnologías para aprovechar la radiación solar que mayormente se han implementado en México son de dos tipos: fotovoltaicas y termosolares. Las primeras convierten la energía solar en energía eléctrica con celdas fotoeléctricas, hechas principalmente de silicio que reacciona con la luz, y las termosolares, que usan la energía del sol para el calentamiento de fluidos, mediante colectores solares, que alcanzan temperaturas de 40 a 100 °C (planos), o “concentradores” con los que se obtienen temperaturas de hasta 500 °C (Secretaría de Energía 2006).

En lo referente a los sistemas fotovoltaicos de 1993 a 2003, la capacidad instalada se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados 839,686 metros cuadrados de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 kJ/m<sup>2</sup>día, generando más de 3.913 petajoules para calentar agua (Secretaría de Energía 2006).

Uno de los programas que mayor cantidad de proyectos ha realizado sobre energías renovables para comunidades rurales en México es el “México Renewable Energy Program” (MREP), gestionado por la agencia estadounidense “Laboratorios Nacionales Sandia” para el desarrollo internacional y el “Departamento de Energía de EE.UU”. Las aplicaciones principales son telecomunicaciones, bombeo de agua, iluminación, refrigeración, y educación a distancia. El programa se planteó para ser desarrollado entre los años 1992 y 2005 (Azteca Solar 2004).



Los Laboratorios Nacionales Sandia trabajan en conjunto con instituciones y empresas mexicanas, una institución que ha tenido gran participación es El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), esta es una entidad paraestatal creada para fomentar los agronegocios y el desarrollo rural (<http://www.firco.gob.mx>). A finales de 2000, FIRCO y Sandia asociados con ganaderos e instituciones locales instalaron casi 200 proyectos piloto de bombeo en 14 estados de México, entre otros Chihuahua, Durango, Sonora, Quintana Roo y Chiapas. La mayoría de los proyectos utilizan la tecnología fotovoltaica, y en algunos casos sistemas eólicos.

En Chiapas se han implementado sistemas fotovoltaicos para electrificar a 30 comunidades de la reserva El Ocote, en 1997, en el Centro Ecoturístico Chajul en 1998, y en los campamentos de las reservas El Triunfo y El Ocote. También se implementó un sistema fotovoltaico en una telesecundaria ubicada (Azteca Solar 2004). Actualmente, en la ciudad rural sustentable Nuevo Juan de Grijalva, la iluminación pública tiene módulos fotovoltaicos independientes (observado en visita guiada, [www.ciudadesrurales.chiapas.gob.mx](http://www.ciudadesrurales.chiapas.gob.mx)).

Por otro lado, en Chiapas, en el ámbito industrial, la empresa Nestlé en su planta ubicada en Chiapa de Corzo, tiene toda su iluminación externa con módulos fotovoltaicos independientes y en sus procesos, en los que requiere elevar la temperatura, utiliza un conjunto de 300 calentadores de agua solares conectados en serie paralelo (visita de campo abril 2011, [www.nestle.com.mx/nestle](http://www.nestle.com.mx/nestle) 2011).

En la industria hotelera, se han instalado calentadores de agua solares en algunos hoteles de San Cristóbal de las Casas para uso sanitario y en viviendas en diferentes zonas del estado, aunque no existen datos de dichas instalaciones.

### **1.3.2 Bioenergía o Energía de la Biomasa**

Dentro de las energías renovables una de gran importancia por su uso actual, es la bioenergía o energía de la biomasa, actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña, usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarero y la leña, fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos (Torres y Gómez 2006).

En Chiapas existe un proyecto de biocombustibles, que inició en el año 2006 con la creación de la Comisión de Bioenergéticos del Estado de Chiapas, actualmente denominada Biodiesel Chiapas y que se enfocó en los últimos años a la producción exclusivamente de biodiesel a partir de la *Jatropha Curcas* (piñón) y de la Palma de Aceite (<http://www.irpat.chiapas.gob.mx> 2010). En diciembre de 2010, como parte del Proyecto integral: producción de biodiesel en Chiapas se inauguró la Planta Productora y Centro de Investigación de Biodiesel en Puerto Chiapas, en la costa del estado, con una estimación de producción de 9.9 millones litros de Biodiesel (Instituto de Comunicación Social del Estado de Chiapas 2010 [www.cocoso.chiapas.gob.mx](http://www.cocoso.chiapas.gob.mx)).

El biodiesel producido se utiliza en algunas rutas del transporte público en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula, que son las dos ciudades más importantes del Estado. En este sentido, los cálculos aproximados que hemos hecho son: para mantener el combustible de un vehículo por un año se requieren 25 hectáreas de tierras fértiles. Según datos del gobierno del estado, están funcionando 106 camiones, lo que equivaldría a 2650 hectáreas para mantenerlos funcionando en el año, si se producen 5 toneladas de maíz, esto equivale a más de 10,000 toneladas al año que aproximadamente alimentarían a 109,589 personas al año. Si comparamos la producción de frijol (1.8 toneladas por hectárea) que se producen en la misma cantidad de hectáreas, serían más de 4000 toneladas de frijol. Además, el costo de producción de todo el proceso hace que el precio de este combustible sea poco competitivo (aproximadamente 18 pesos el litro). Mientras que el diesel está en menos de 9.20 pesos durante el primer semestre del 2011.

Por ser de gran consumo en México y en particular en Chiapas, mención especial requiere el uso de la leña como principal combustible para cocción de alimentos en zonas rurales. En relación a este consumo de leña, mientras algunos sectores utilizan mayormente a la energía producida a partir del petróleo, la leña permanece como uno de los pocos recursos energético de los más pobres, con las graves consecuencias ambientales y de salud conocidas (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas 1981, Díaz y Masera 2003). Según Junemann y Legarreta (2007), en América Latina las cifras estimadas de prevalencia de la

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica varía entre el 7.8% y 19.7% y sus principales factores son el humo de cigarrillo y el de la leña.

En el aspecto ambiental el uso de leña impacta a la deforestación, en este sentido un 80% está concentrada en las regiones centro y sureste. Los estados comprendidos en la región crítica por su consumo en leña son: Chiapas, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Díaz y Berrueta 2003).

Actualmente alrededor de la cuarta parte de la población Mexicana, entre 25 y 28 millones de habitantes cocina con leña. De estos, 19 millones de habitantes usan este energético como combustible único para cocinar y alrededor de 8 millones la usan en combinación con gas LP. El mayor uso de la leña se concentra en los hogares rurales y semi-urbanos. La leña es todavía el principal combustible residencial en México, ya que suministra aproximadamente el 40% de energía total utilizada. Asimismo, aporta el 80% de la energía usada en los hogares rurales (Díaz y Masera 2003).

El uso de leña predomina sobre el uso total de energía, tanto en casas como en miles de micro-empresas tales como panaderías, ladrilleras, talleres de alfarería, destiladoras, tortillerías (cocción de nixtamal y elaboración a mano) y productores artesanales en general (SARH 1991; Olguín 1994; Masera et al. 2003; 2005).

A nivel local, en un estudio realizado en Chiapas en la región Zoque, se encontró que los consumos más elevados se encontraron entre propietarios en el acahual y cafetal con 18.2 kg/habitante al día (Escobar et al 2009; figura), si lo comparamos con el promedio a nivel nacional por habitante que es de 2.1 kg/día (9.9 kw/h), el consumo es demasiado alto y comparado con otras fuentes de energía mucho más (De los Ríos 2007). Otro dato interesante es que la leña proviene de 101 especies (en la región Zoque) aunque las mas usadas son la de quebracho espino (*Acacia pennatula*) y roble encino (*Quercus oleoides*) (Figura 1.3.1). Quienes no tienen tierras, utilizan especies que no son adecuadas para la leña, olotes y a veces bolsas y botellas de plástico (Escobar et al 2009).



Figura 1.3.1. Leña para cocción de alimentos en la comunidad rural Monte Horeb, Municipio de Cintalapa, Chiapas. Foto: N. Farrera

Uno de los géneros de árbol más comunes en México es el encino (*Quercus*), existen más de 200 especies, éste también es de los más utilizados como leña (García 2008).

## **1.4 Problemática Energética en las Comunidades Rurales y su Relación con el Desarrollo**

La energía es el eje de toda actividad humana, la mayor cantidad de la que disponemos llega por medio de la radiación solar y es utilizada en forma directa o aprovechando la fuerza del viento y del agua de los ríos, la energía de la biomasa, entre otras (Moomaw 2008). Por otro lado, existe en menor cantidad, pero se utiliza mucho más la energía proveniente de combustibles fósiles, como el petróleo, gas y carbón; estas son usadas sobre todo en zonas urbanas (Almanza y Martínez 2005).

El mayor consumo actual es de energía no renovable. Según el estudio “La Energía en los Asentamientos Humanos” (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas SAHOP 1981), el concepto de desarrollo económico y social está asociado en la historia de la humanidad a un aumento en la utilización de energía; este aumento ha sido exponencial a partir del siglo XIX. Sin embargo se puede observar que hay disparidad en el consumo energético de los países así como de la calidad de vida de sus habitantes, ya que el aumento en el consumo de energía no siempre lleva a un bienestar general de la población, por lo que la relación entre desarrollo y energía es compleja.

Aunque la principal solución a este problema es incrementar el consumo de energías renovables, actualmente el uso de éstas es muy pequeño, apenas del 24.8% en

América Latina, con la aclaración de que se incluye la hidroeléctrica (Figura 1.4.1) con un consumo de casi la mitad (11.3%).

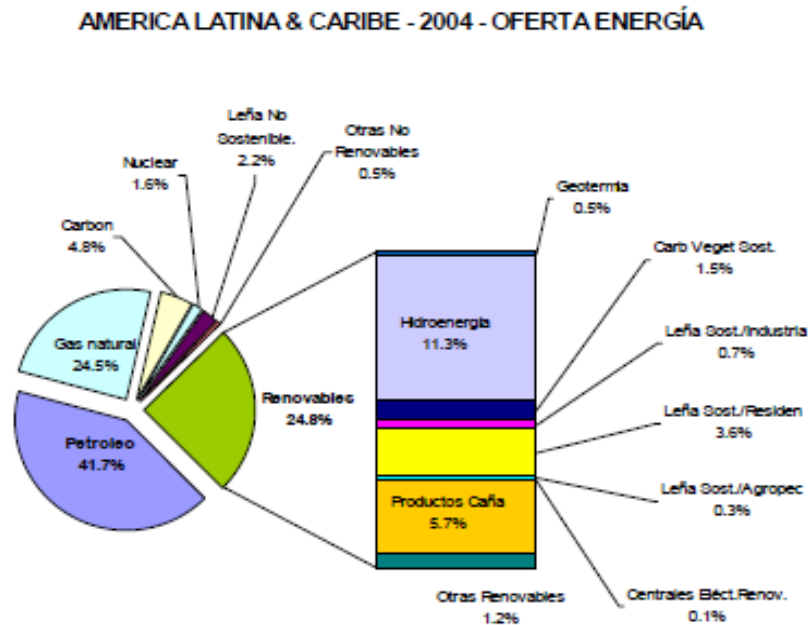


Figura. 1.4.1. Consumo de energía renovable en América Latina en el 2004. Fuente: CEPAL División de Recursos Naturales e Infraestructura.

Con estos datos, podemos darnos cuenta que no se ha aprovechado el gran potencial de las energías renovables para mejorar las condiciones de vida de las comunidades marginadas, además de la biomasa (leña y desechos orgánicos), la solar térmica es otra opción importante, para las que existen múltiples posibilidades de aplicación pueden tener alto impacto en las zonas rurales, algunas son: cocción de alimentos, calentamiento de agua, calefacción de vivienda, electrificación de vivienda, iluminación pública, abastecimiento de agua potable, bombeo de agua para

riego, secado solar de plantas, frutas y productos artesanales, destilación de agua para uso clínico, electrificación de escuela y clínica rural (Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República – UNAM 2004; Torres y Gómez 2006).

Aunque en México se ha hecho un esfuerzo por atender las zonas rurales en el rubro de energía (Torres y Gómez 2006), todavía se tienen grandes rezagos, según el XI censo de población y vivienda del INEGI, más del 10% de los estados del sur de México no cuentan con energía eléctrica. A nivel nacional se tiene una cobertura del 95% de electrificación, y aunque casi todas las viviendas urbanas cuentan con electricidad, sólo el 85% de las viviendas rurales tienen dicho servicio. Además, sólo el 65% de las zonas rurales indígenas cuentan con electricidad, lo que nos indica que son las zonas de mayor marginación en el país. Esto se confirma con los datos arrojados por el Índice de Desarrollo Humano, los cuales sugieren que los estados del sur- sureste son los que presentan un menor desarrollo, tal es el caso del estado de Chiapas que ocupa último lugar en este índice con 0.718, un valor menor al promedio que es de 0.821 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD 2007).

Los indicadores muestran la necesidad de mejorar las condiciones de vida de las personas que viven en las zonas rurales, especialmente comunidades indígenas, ello se puede lograr con el uso de energía renovable, uso que está impulsando a la comunidad científica y gobiernos a dirigir su atención hacia ésta bajo la perspectiva del Desarrollo Sustentable (García 2006).



A nivel local, en Chiapas se justifica el uso de energías renovables para contribuir a mejorar los indicadores de pobreza y marginación acercar a las comunidades rurales a su Desarrollo Sustentable, algunos datos que reflejan la problemática son los siguientes.

Según el INEGI (censo de población y vivienda 2005), en Chiapas existen aproximadamente 20000 localidades siendo la segunda entidad con mayor número de asentamientos, lo que nos indica una gran dispersión rural en el estado.

La población en Chiapas que habita en comunidades pequeñas de menos de 2500 habitantes es un poco más del 50% los datos del INEGI son los siguientes: en el estado habitan 4,293,459 habitantes de los cuales 2,243,712 habitantes en localidades de 1 a 2499 habitantes, 673,878 en localidades de 2500 a 14999 habitantes y 1,375,869 en localidades de 15000 o más habitantes. Lo que implica un 52.25% de los habitantes en pequeñas poblaciones y confirma la gran dispersión. La población que vive en estas localidades de 2500 o menos habitantes en Chiapas representa casi un 10% de la población nacional que vive en localidades de este tamaño y un 2.17% de la población total del país.

Existe una gran brecha de desigualdades entre las regiones del sur-sureste y la centro-norte del país en materia de educación, investigación y desarrollo tecnológico, por ejemplo Chiapas es el estado más rezagado del país en cobertura universitaria

con un 13% (la media nacional es 24.1%). Chiapas es uno de los estados más pobres de México, tiene 28 municipios dentro de los 120 con mayor índice de marginación y pobreza del país. El índice de electrificación del estado es de un 86% mientras que en la mayoría de los estados de la República supera el 95%. Por otra parte es uno de los lugares del mundo donde se juntan todas las fuentes renovables de energía con un gran potencial para su aplicación. Por lo que es importante la innovación y desarrollo tecnológico y la asimilación de las tecnologías actuales ya probadas y su adaptación a las condiciones climatológicas y socio-culturales de la región y, a su vez, realizar las investigaciones aplicadas necesarias para el desarrollo de tecnologías propias.

Abordar el tema del Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales en Chiapas a partir de las Energías Renovables para combatir la pobreza y la marginación, contribuirá al cumplimiento de los objetivos y metas en materia de fuentes de energías renovables establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo (PND 2007-2012), el Programa Sectorial de Energía (PSE 2007-2012), el Plan de Desarrollo Chiapas Solidario 2007-2012 y los objetivos del milenio que son parte de la constitución de Chiapas.

Por todo lo anterior, se puede precisar que en las comunidades rurales el uso de la energía es factor de desarrollo; según el CIEMAT, *“En la civilización actual, la disponibilidad de energía está fuertemente ligada al nivel de bienestar, a la salud y a la duración de vida del ser humano”*.

## 1.5 Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas para Comunidades Rurales

### 1.5.1 Secadores Solares

En las comunidades rurales se ha usado la energía del sol principalmente para secar productos agrícolas. Una de las tecnologías que se requieren y se han desarrollado, son los secadores solares, de los cuales existen varios tipos (Figura 1.5.1). Zaman y Ball reportaron a finales de los noventa, que para el proceso de secado de arroz, probando secadores de tipo intemperie extendida, tipo indirecto (Figura 1.5.2) (gabinete) y mixto. El mixto resultó ser superior por la calidad del producto final.

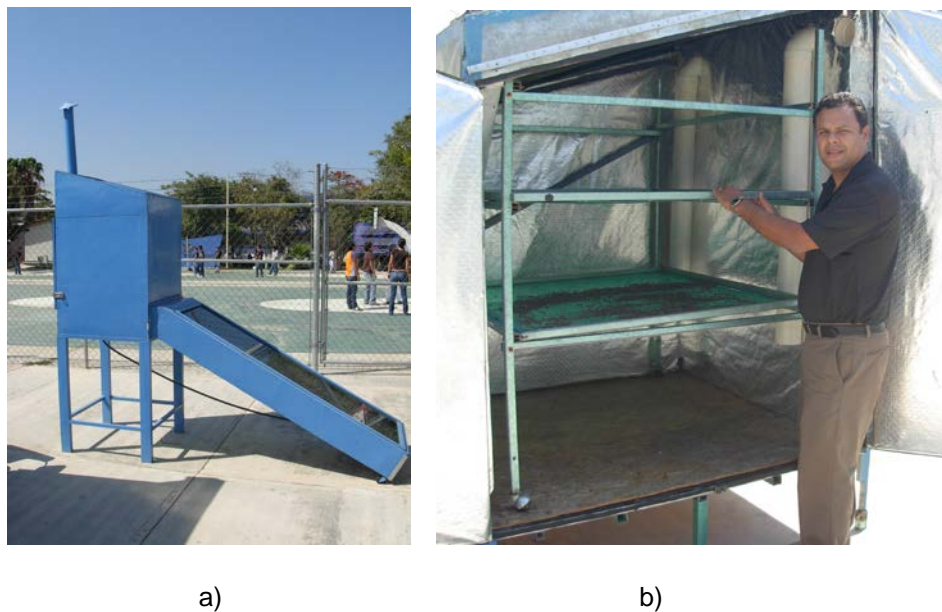


Figura 1.5.1. a) Secador solar con acumulación térmica de tipo indirecto y convección natural. b) Secador solar tipo indirecto por convección natural, desarrollado por Pantoja et al. Foto: N. Farrera

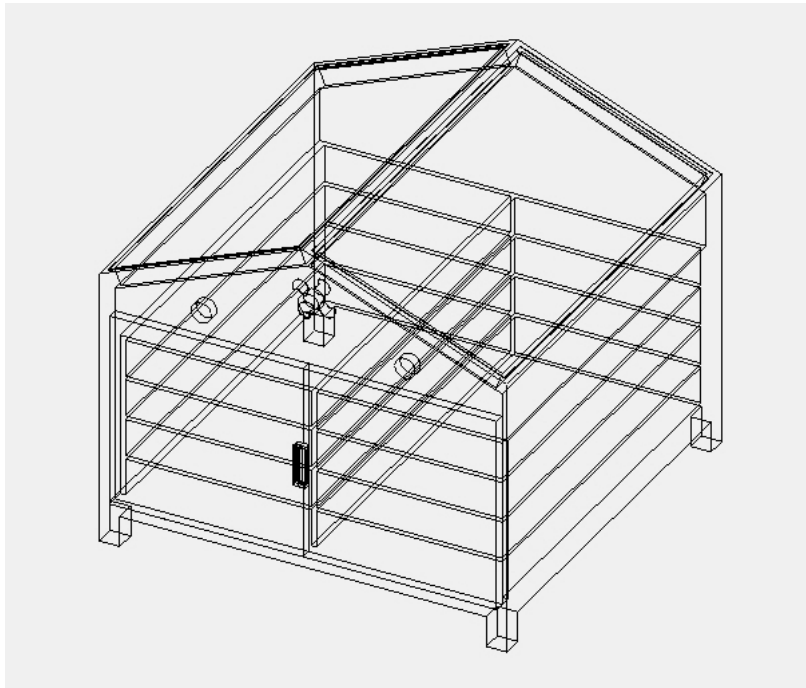


Figura 1.5.2. Secador solar indirecto por Convección Forzada, desarrollado por Pantoja et al.

Esquema: N. Farrera

Algunos ejemplos de secadores son:

Secador de convección natural solar (Figura 1.5.3) construido con materiales locales (madera, hojas de vidrio, metales) para productos alimenticios (yuca, plátano, mango). Permite reducir el contenido de humedad de la yuca y plátano aproximadamente un 80% en 19 y 22 h, respectivamente. Este valor permite la conservación de estos productos cerca de un año sin deterioro (Gbaha 2007).



Figura 1.5.3. Secador Solar típico de tipo Indirecto por Convección Natural. Foto: N. Farrera

Otro tipo de secador propuesto es el de concentración solar por convección forzada con control difuso (Figura 1.5.4). Se propuso para el secado de jamaica (Castañeda et al 2008).

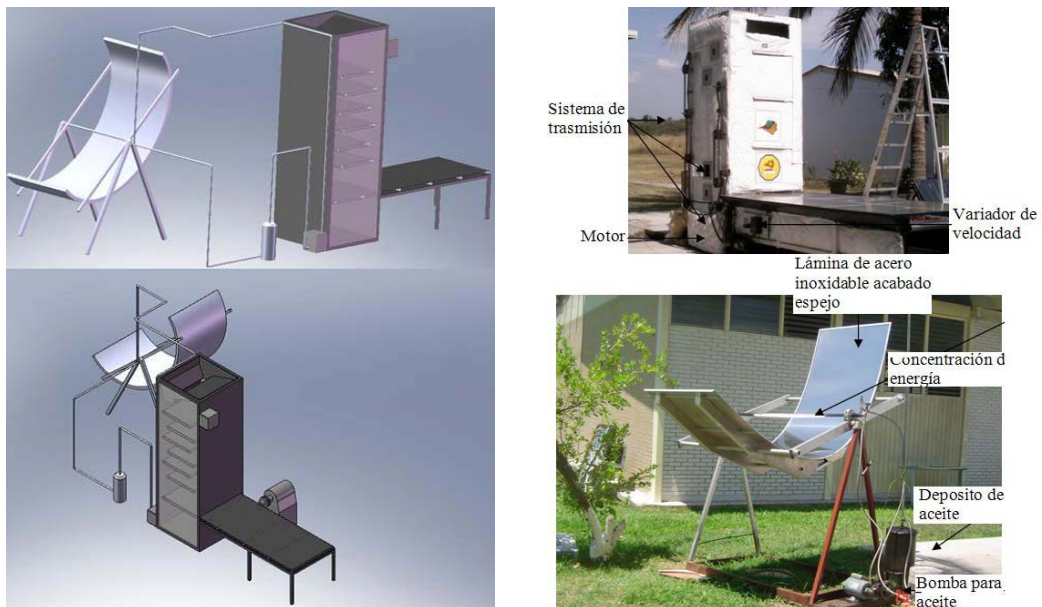


Figura 1.5.4. Secador de Concentración Solar.

Otra variante de secador solar es un deshidratador de tipo pasivo, con este se deshidrata el producto con radiación solar directa a pequeña escala, un ejemplo es el de la Figura 1.5.5. En este diseño, se colocó un total de 4 Kg. de manzana, la cual se logra deshidratar después de 8 horas de operación (Torres 2006).



Figura 1.5.5. Deshidratador Solar Pasivo de tipo Directo. Fotografía: L. M. Torres. Revista Solar

### 1.5.2 Calentadores Solares de Agua

Los calentadores solares de agua (CSA) son sistemas dotados con un elemento captador de radiación solar para calentar el líquido y un depósito para almacenar el agua caliente (Pilatosky 1998).

Existen dos tipos de CSA, en función del material captador empleado: los colectores solares planos y los de tubos evacuados (Ramos y Patiño, 2006).

Los colectores solares planos tienen como elemento captador una placa de cobre. Por sus características, se les llama también de baja temperatura, pues sólo alcanzan entre 30 y 60 °C. Los colectores de tubos evacuados utilizan como colector solar un arreglo de dos tubos concéntricos de cristal, con vacío entre ambos, donde el ubicado en el interior está provisto de una capa que absorbe el calor. Estos equipos, también llamados de alta temperatura, pueden alcanzar hasta de 80 °C. De acuerdo a su funcionamiento (Méndez y Cuervo 2008).

Aunque existen varias formas de clasificar a los calentadores de agua solar principalmente se pueden analizar por su funcionamiento: por termosifón o “circulación natural”, con intercambiador de calor o “circulación forzada” y con respaldo integrado o “sistema de emergencia” (Figura 1.5.6) (Sánchez 2008).

El sistema termosifónico es el más usado en el sector residencial, y debe su nombre al fenómeno que hace que fluya el agua entre el elemento captador y el depósito o termotanque, por la diferencia de temperatura, al elevarse la temperatura del líquido.

Los sistemas con intercambiador de calor o de circulación forzada, no almacenan el agua caliente en el termotanque, sino que toman el calor de un fluido (que puede ser agua u otro líquido) que circula en el colector solar y lo llevan a un tanque, el cual, a su vez, transfiere el calor al agua sanitaria. En algunos casos este termotanque

cuenta con una resistencia eléctrica, la cual calienta el agua cuando la temperatura desciende a un nivel predeterminado (Méndez y Cuervo 2008, Sánchez 2008).

El sistema de respaldo o de emergencia es idéntico al termosifónico, excepto que en el termotanque se encuentra una resistencia eléctrica, o una hornilla que funciona con gas, que calienta el agua bajo un sistema de control o cuando el usuario lo solicita, esto sucede en épocas de lluvia o cuando se excede el consumo de agua caliente y dependiendo de la capacidad del sistema.



Figura 1.5.6. Calentadores de Agua Solares. Arriba izquierda: Esquema de calentador solar plano típico. Arriba derecha: Calentador solar plano termosifónico con sistema auxiliar eléctrico. En medio izquierda: Calentador de agua con colector evacuado de doble termotanque. En medio derecha: Esquema de calentador solar plano de agua con circulación forzada. Fotografías: N. Farrera



### **1.5.3 Purificadores Solares de Agua**

Uno de los problemas sociales más importantes en la actualidad es el acceso a agua para consumo humano, de una calidad bacteriológica aceptable.

Esto se acentúa especialmente en áreas rurales marginadas, en las cuales las limitaciones para tener acceso a agua limpia son mayores, y donde las condiciones locales dificultan la aplicación de métodos tradicionales para su desinfección. Dicha necesidad ha motivado el desarrollo de diversos métodos para este fin. La desinfección de agua mediante energía solar, ha recibido creciente atención y su aplicación se promueve activamente en varios países latinoamericanos (Moser et al., 2005). Uno de estos procesos consiste en la exposición de agua contaminada a la radiación solar, contenida en botellas de plástico PET, durante periodos de al menos 5 horas. El uso seguro de esta tecnología requiere que se ponga atención a los varios factores que afectan la eficiencia de desinfección del método, los cuales incluyen el tiempo mínimo de exposición a la radiación solar, la intensidad de la misma, que a su vez depende de la localización geográfica, la temporada y condiciones del clima (SODIS, 1998).

### **1.5.4 Estufas Solares**

Una tecnología para aprovechar la radiación solar en forma directa es la estufa de concentración solar (Figura 1.5.7), es un dispositivo fácil de construir y relativamente

barato para pequeñas cantidades de alimento. Los inconvenientes que tiene esta tecnología son: tienen que orientarse constantemente hacia el sol para poder funcionar, o tener un sistema de control de seguimiento solar, solo funciona cuando existe radiación solar y tiene que operarse a la intemperie, para cantidades grandes de alimento su tamaño es voluminoso, si se requieren temperaturas mayores a 500 °C su costo es alto (Rincon y Lentz, 2008)



Figura 1.5.7. Estufa de Concentración Solar con Geometría CPC. Fotografía: N. Farrera

Uno de los dispositivos de estufa solar de mayor aceptación y evolución es el Concentrador Parabólico Compuesto “CPC” (Flores et all, 2007). Esta cocina solar es de fácil construcción, transportación y económica, aunque para bajas capacidades de cocción, máximo 2 kg de alimentos, su desventaja radica en la dificultad de cocinar alimentos líquidos, debido a la geometría del recipiente de cocción, siendo cilíndrica con disposición horizontal. Las cocinas solares con esta geometría han presentado buenas condiciones de operación para gran variedad de alimentos.

Existen cocinas solares de concentración solar que presentan dificultad en su transporte por las dimensiones cuando se trata de capacidades superiores a 5 kg de alimentos, los recipientes de cocción que utilizan son de geometría cilíndrica horizontal, por lo que las estufas

### **1.5.5 Estufas Ahorradoras de Leña**

Uno de los aspectos que los gobiernos e instituciones vinculadas a las zonas rurales que se han impulsado desde los años ochenta en diversas partes del mundo y específicamente en Latinoamérica y México es la promoción del uso de Estufas Ahorradoras de Leña, de las cuales existen varios modelos como se muestra en la figura 1.5.8.

En el estudio “Estufas Ahorradoras de Leña para el Hogar Rural (CATIE 1994), se presentan varios tipos de estufa ahorradora de leña en la región centroamericana como la Josefina, Santa Ana, mejorada y Ceta. Al evaluarse éstas, además de reducir el consumo de leña, reducen el tiempo de cocción de los alimentos, el humo de la cocina, el tiempo que la familia invierte en la recolección de leña y, consecuentemente, contribuyen a reducir la deforestación (Soares 2006).



Figura 1.5.8. Estufa “Ecológica” y “Citlali”. Fotografía: <http://www.sanitariosecologicos.com.mx>

(Diciembre 2009)

En México, particularmente dentro de los estados de Michoacán, Chiapas y Oaxaca. Se ha trabajado con una diversidad de diseño de estufa. La mayoría de estos grupos trabajan con alguna variante de la estufa Lorena, como es el caso de la Patsari. En el sureste de México están promoviendo, además de las mencionadas, la estufa Justa y la Rocket y son comúnmente parte de iniciativas mayores dirigidas a la restauración de los bosques locales, la conservación de la biodiversidad o parte de las acciones de organizaciones campesinas (Masera et al 2005).

En Chiapas se han adoptado estufas ahorradoras de leña como es el caso de la región de la Reserva El Ocote en donde se implementaron estufas tipo Ceta y Lorena desde 1996 (Nañez 2005).

### 1.5.6 Biodigestores

En México el gobierno a través de instituciones como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), SEDESOL, Secretaría de Pueblos Indígenas (SEPI), han implementado biodigestores para aprovechar el biogás generado por desechos orgánicos, principalmente de ganado vacuno y porcícola. En algunos estados del norte, se han implementado biodigestores rígidos de plástico, principalmente en ranchos y granjas porcinas.

Por ejemplo, en Michoacán se han implementado tecnologías de biodigestores principalmente tipo Tailandés y Chino, que son biodigestores flexibles o rígidos con tapa flotante, específicamente se instalaron tres biodigestores tubulares de plástico horizontal por parte de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en 1999. El objetivo de estos fue reducir la contaminación (suelos y aguas), atribuida a la manipulación inadecuada de excretas en las operaciones de ganado. En el Estado de Jalisco, México, la Fundación PRODUCE llevó a cabo un proyecto que se aplicarán en las granjas porcinas, con el objeto de permitir validar la tecnología respecto a sus ventajas en el manejo de desechos orgánicos de una manera integral (Salazar, 2000).

En Chiapas se ha iniciado la implementación de biodigestores rígidos de plástico, concretamente en el Municipio de Villaflores, desarrollado por el cuerpo académico Energía y Sustentabilidad (Moreira et al, <http://politecnicas.sep.gob.mx> 2010). En

este municipio se instalaron 17 biodigestores que utilizan desechos orgánicos de los ranchos ganaderos para producir biogás, además de reducir la contaminación de suelos y ríos por este tipo de desechos (Hernández y Velasco 2010).

El interés por esta tecnología y la problemática de las comunidades rurales de Chiapas, han hecho que dependencias como la Secretaría de Pueblos Indios firmen un convenio de colaboración con la Asociación de Desarrollo Económico Local de Zacatecas, para gestionar recursos para instalar cinco mil biodigestores en diferentes comunidades indígenas del estado. Aunque hace falta desarrollar esta tecnología, para condiciones ambientales específicas de cada región y hacer estudios de su funcionamiento (Hernández y Velasco 2010).

## CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 Metodologías de Desarrollo Comunitario

Existen varias metodologías para realizar procesos de intervención comunitaria, como constante, estas tienen una etapa inicial de diagnóstico y la participación y toma de decisiones de la comunidad durante el proceso. A continuación se presentan algunas de las más actualizadas, que tienen la peculiaridad de tener un enfoque hacia el Desarrollo Sustentable. También en el presente apartado se precisan algunos de los conceptos que enriquecen dichas metodologías.

Una metodología que además de ser de vanguardia, está probada en la región latinoamericana es la Metodología Comunitaria para el Desarrollo Social (MECOM), esta tiene como fundamento un proceso de participación de los miembros de la comunidad de manera consciente. Se utilizan una serie de herramientas para que los participantes recobren su historia, analicen su entorno local y la relación de este en el contexto global, identifiquen su problemática, determinen sus necesidades y las prioridades, y posteriormente participen en la gestión e implementación de las soluciones.

La Metodología parte de una visión constructivista, la cual indica que la mujer y el hombre no solamente tienen el derecho de construir su propio futuro, sino también la autoridad y la potestad de hacerlo. Esta propuesta metodológica, cuyo marco de

referencia son las experiencias en programas y proyectos que cuentan con un marco institucional en América Central, Caribe, países Andinos y Brasil (Kniffki et al 2010).

Otro de los paradigmas que han sido utilizados en procesos de intervención comunitaria sustentables, es la Metodología de Sistemas Ambientales Complejos que propone Rolando García, esta complementa la propuesta de intervención de la MECOM en el aspecto de observar la realidad de manera sistémica y en la reconstrucción de la problemática en todo el proceso de intervención.

El planteamiento central de esta metodología es: que un sistema complejo es una representación de un recorte de la realidad, conceptualizado como una realidad organizada (sistema), en la cual los elementos no son “separables” y, por tanto, no pueden estudiarse aisladamente (García 2006). Uno de los aspectos fundamentales de este enfoque es que la investigación debe ser desde más de una disciplina, para lo cual Rolando García propone que se forme un equipo de investigación interdisciplinario.

En este caso, lo fundamental es la delimitación del sistema complejo que requiere de una concepción común entre los miembros del equipo de investigación sobre la problemática general a estudiar, y además una base conceptual común y una concepción compartida de la investigación científica. Es importante plantear que esta metodología supone la reformulación continua de la problemática que se irá definiendo y redefiniendo en toda la investigación.



La metodología para una investigación de sistemas complejos responde a la necesidad de lograr una síntesis integradora de los elementos de análisis provenientes de tres fuentes (García 2006):

1. El objeto de estudio, es decir, el sistema complejo fuente de una problemática no reducible a la simple yuxtaposición de situaciones o fenómenos que pertenezcan al dominio exclusivo de una disciplina.
2. El marco conceptual desde el cual se aborda el objeto de estudio
3. Los estudios disciplinarios que corresponden a aquellos recortes de una realidad compleja, visualizados desde una disciplina específica.

La intención es la formulación sistémica de la problemática que presenta el objeto de estudio. A partir de allí, será posible lograr un diagnóstico integrado, que provea las bases para proponer acciones concretas y políticas generales alternativas que permitan influir sobre la evolución del sistema.

La primera parte de un estudio de un sistema complejo es el diagnóstico. En esta etapa se presentan los resultados (hechos observables), toda esta información se puede obtener con diferentes métodos, como entrevistas y encuestas.

En las metodologías revisadas existen conceptos y elementos que es importante enfatizar por su importancia para asegurarnos de que la intervención sea sustentable e integral. Para empezar el proceso se debe realizar con la óptica de la teoría general de sistemas y el pensamiento complejo (Van Gigch 1994, Morin xxx, García 2006, Checkland 2004), se debe incluir la participación de un grupo interdisciplinario de académicos (García 2006, Leff 2000, Kniffki et al 2010). Tanto la teoría de sistemas como el pensamiento complejo plantean que los problemas del mundo real deben observarse de manera integral y sus soluciones deben impactar de la misma forma. Las soluciones por lo tanto no son disciplinares, sino con un enfoque transdisciplinar (Gibbons 1997). Por último, la comunidad debe estar consciente de su problemática y gestionar las soluciones, de esta manera la permanencia en el tiempo de dichas soluciones se garantiza.

## **2.2 Fundamentos Teóricos de las Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas**

A continuación se presentan los principios teóricos de las tecnologías termosolares y bioenergéticas que pueden contribuir al Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales Marginadas:

### **2.2.1 Secadores solares**

El secado es el proceso de tecnología solar más antigua, se utiliza como una forma para conservar alimentos, su primera versión es el secado a intemperie extendida

(Osman y Can 2001). Ya en la actualidad, en muchas plantas de procesamiento de productos agrícolas o comestibles, el secado es una de las operaciones importantes, que si no se realiza, puede causar problemas graves en la calidad, así como la cantidad final de producto para su comercialización.

El proceso de secado requiere una sustancial cantidad de energía en comparación con otras operaciones, por lo que éste debe ser lo suficientemente económico para que sea rentable. Además del secado con la radiación solar, este proceso puede utilizar otras fuentes de energía, como gas o electricidad, lo que incrementa su costo.

El secado directo al sol (intemperie extendida) es el método más utilizado para los productos agrícolas en muchos lugares en el mundo, especialmente en los países asiáticos y latinoamericanos. En este método, los productos se extienden sobre una superficie plana de grandes dimensiones y la energía solar es directamente absorbida por el producto y al mismo tiempo el agua del producto se evapora (Miramare 1997).

En general un secador es un artefacto con una cámara de secado de la cual se extrae aire caliente generado en un colector solar. El aire puede fluir por diferencia de temperaturas con el efecto termosifón llamado “secador solar por convención natural o circulación natural”, o de manera forzada por uno o más ventiladores, “secador solar con circulación forzada” (Ratti 1997). El colector solar puede estar

integrado a la cámara de secado “secador solar directo” o separado “secador solar indirecto”. También puede combinar los dos tipos de colector “secador solar mixto”.

Existen variantes de secadores, como los que pueden conservar el calor en días nublados o por las noches, a estos se les denomina secadores solares con acumulación térmica, estos usan algún material (sólido o líquido) que absorbe calor y lo mantiene para su posterior uso o para incrementar la temperatura al interior de la cámara de secado.

El principal objetivo de un secador es extraer humedad de los productos introducidos a la cámara de secado de una manera rápida y con mayor calidad que los productos secados a la intemperie (intemperie extendida), como normalmente se hace en las comunidades. Otros componentes importantes de un secador son los materiales térmicos utilizados, la estructura y las paredes, los estantes, bandejas o parrillas de secado, los cristales del colector solar y la lámina negra en la parte inferior, los canales donde debe fluir el aire, entre otros (Simate 2001, Finck Adolfo 2008).

### **2.2.1.1 Evaluación de los secadores solares**

A continuación se presentan los principales elementos teóricos para analizar la capacidad y eficiencia de los secadores solares:

En los secadores solares, se requiere eliminar agua del producto en un tiempo  $t$  (h) durante el secado para hacer pasar el producto desde una humedad  $M_1$  (humedad inicial) hasta  $M_2$  (humedad de equilibrio o final) ya sea en base húmeda ( $M_{wb}$ ) o base seca ( $M_{db}$ ). Navarrete J.J, Torres E, (2009)

$$W_a = W_o [(M_{wb1} - M_{wb2}) / (1 - M_{wb2})] t$$

Esta ecuación también se puede poner en función de la humedad base seca

$$W_a = W_d [(W_{db1} - W_{db2})] t$$

Por otro lado, el flujo de aire que debe pasar por el producto será:

$$m_a = W_a / (w_2 - w_1)$$

Para eliminar el agua (humedad) del producto, se aplica la ecuación de balance de masa y energía, considerando que toda la energía y humedad que gane el aire, será toda la que elimine el producto (Kkitinoja, Adel, 1996), tenemos que:

$$Q_a = m_a (h_2 - h_1)$$

Una vez determinada la cantidad de calor ( $Q_a$ ) necesaria para la evaporación del agua del producto y la cantidad de energía solar con que contamos podemos diseñar el colector solar del secador.

Las leyes de la transferencia de calor nos relacionan estas variantes con el área de captación o área de transferencia de calor

$$Q_a = m_a C_p A (dT/dt)$$

A es el área de captación del colector,  $dT/dt$  es la variación de la temperatura del aire desde que entra al secador hasta que sale del colector.

La cámara de secado se diseña en dependencia del tipo de producto y del tipo de acción de carga y descarga que sea más factible. Dependerá también de la demanda de producto seco o producción, siempre teniendo en cuenta que la velocidad del aire dentro de esta debe estar alrededor de 1m/s, este parámetro lo asumimos inicialmente. Balladin et.al (1996).

La eficiencia térmica de un colector solar plano se puede describir mediante un balance de energía. Este se representa mediante la siguiente ecuación: Navarrete J.J y Torres E, (2009) y Duffie J. A y Beckman W.A. (1980)

$$Q_{abs} = Q_u + Q_L + \frac{du}{dt}$$

Donde  $Q_{abs}$  es el calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector (W),  $Q_u$  es el calor útil que finalmente se transfiere al fluido de trabajo (W),  $Q_L$  son las pérdidas de calor hacia los alrededores por radiación, convección y conducción (W) y  $du/dt$  la rapidez de el cambio de energía interna almacenada en el colector (W) cuyo valor es muy pequeño y generalmente se desprecia.

Haciendo un desglose más detallado de los términos de la ecuación anterior, encontramos que cada uno de ellos puede ser representado por otra ecuación.

$$Q_{abs} = H_T A_c (\tau\alpha)$$

$$Q_u = m C_p \frac{dT}{dt}$$

$$Q_L = U_L A_c (T_{mp} - T_a)$$

Donde

$$(\alpha\tau) = \frac{\alpha\tau}{1 - (1 - \alpha)\rho_d}$$

El valor de  $\rho_d$  representa la fracción de la radiación solar que es absorbida por el colector y toma diferentes valores según el número de cubiertas que se utilicen. Así, para 1, 2, 3 y 4 cubiertas, los valores de  $\rho_d$  son aproximadamente 0.16, 0.24, 0.29 y 0.32, respectivamente. Mujumdar A. S (2000).

Sustituyendo y reordenando la ecuación de balance de energía tenemos que:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_p - T_a)]$$

Donde:

$$S = H_T (\tau \alpha)$$

Como podemos ver el calor útil queda como función de la  $T_p$ , que es difícil de calcular o medir, ya que está en función del diseño del colector y de variables que cambian continuamente con el tiempo como la radiación solar incidente y la temperatura del fluido de trabajo al entrar al colector.

Aunque aparentemente la ecuación que representa las pérdidas de calor, es sencilla; la evaluación numérica del coeficiente total de pérdidas de calor ( $U_L$ ) requiere de un análisis detallado. A continuación se presenta un modelo matemático de cómo obtenerlo. Podemos decir entonces, que  $U_L$  es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor, que se pueden expresar también como el inverso de sus resistencias, así: Navarrete J.J y Torres E, (2009)

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Donde  $U_t$  es el coeficiente total de transferencia de calor para la parte superior del colector.

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_p} \left[ \frac{T_p - T_a}{N + f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\epsilon_p + 0.00591 N h_w} + \frac{2N + f - 1 - 0.133 \epsilon_p - N}{\epsilon_g}}$$

De donde:



$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w \varepsilon_p)(1 + 0.07899N)$$

$$C = 520(1 - 0.000051\beta^2), \text{ Para } 0^\circ < \beta < 70^\circ; \text{ Para } 70^\circ < \beta < 90^\circ \text{ se usa } \beta = 70^\circ$$

$$e = 0.43 \left( 1 - \frac{100}{T_p} \right)$$

$h_w = 5.7 + 3.8v$ , es el coeficiente de transferencia de calor del viento ( $W/m^2C$ ).

$U_b$  y  $U_e$ , son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados respectivamente y que tienen relación con las dimensiones del colector y el tipo y grosor del aislante utilizado, de manera que:

$$U_b = \frac{k_a}{l} \quad \text{y} \quad U_e = \frac{k_a MP}{l' A_c}$$

En estas ecuaciones,  $k_a$  es la conductividad térmica del aislante,  $l$  y  $l'$  los espesores del aislante por el fondo y lados respectivamente,  $P$  el perímetro del colector y  $M$  la altura de las paredes del mismo; todas las variables pueden ser conocidas de manera que se pueden obtener los valores de  $U_b$  y  $U_e$ .

**Calor útil.**

$$Q_u = A_c [H_T(\tau\alpha) - U_L(T_p - T_a)]$$

## **Eficiencia del colector solar**

Es la relación entre el calor útil y la energía solar incidente sobre el colector en un mismo período de tiempo.

$$\eta_c = \frac{Q_u}{H_T A_c}$$

### **2.2.2 Estufas ahorradoras de leña**

Una estufa ahorradora de leña es aquella que por sus características de diseño y materiales de construcción, consume menor cantidad de leña que los fogones tradicionales, debido a que la leña se quema mucho mejor “combustión eficiente” (Venegas et al xxx).

#### **2.2.2.1 Principios de Diseño**

Desde mediados de los años 70 se han desarrollado estufas eficientes y ahorradoras de leña. Varios autores han propuesto principios de diseño que deben ser tomados en cuenta en los procesos de innovación. Por ejemplo Bryden et al proponen los siguientes diez principios para el diseño de una estufa ahorradora de leña:

1. En la medida de lo posible, es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos y resistentes al calor. Un aislante alrededor del fuego lo mantiene caliente y ahorra leña.
2. Instalar una chimenea corta y aislada directamente encima del fuego.
3. Calentar y quemar las puntas de los palos a medida que se meten al fuego.
4. Crear temperaturas altas y bajas según la cantidad de leña que se mete al fuego.
5. Mantener una corriente de aire buena y rápida en todo el carburante.
6. La falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y exceso de carbón.
7. La abertura al fuego, el tamaño de los espacios dentro de la estufa por donde pasan los gases calientes y la chimenea externa deben ser aproximadamente del mismo tamaño. Esto se llama mantener una superficie transversal consistente. Una puerta orientada al fuego con una abertura cuadrada de 12cm por lado con chimenea y túneles del mismo tamaño al interior de la estufa producirá un fuego adecuado para la cocina de la familia.
8. Usar una reja debajo de fuego
9. Aislar la trayectoria del aire caliente.
10. Aumentar el intercambio térmico de la olla con espacios adecuados.

Uno de los conceptos más importantes para diseñar estufas ahorradoras de leña es el concepto de “eficiencia”: es la relación entre la energía (cantidad de la leña utilizada) y la salida, que es el alimento cocinado (Díaz y Berrueta 2003). En este sentido, los factores más importantes para poder elevar la cantidad de calor que

entra a una olla o plancha son: 1) mantener los gases que tocan a la olla o a la plancha lo más calientes posible y, 2) forzar que los gases calientes rocen contra la superficie rápidamente, m lentamente.

A continuación se presentan diferentes conceptos de eficiencias parciales que pueden ser consideradas para este tipo de dispositivos (VITA 1985):

Eficiencia de combustión

$$n_c = \text{Calor generado por la combustión} / \text{Energía Potencial de la leña}$$

Eficiencia de transferencia de calor

$$n_t = \text{Calor total en el recipiente} / \text{Calor total generado}$$

Eficiencia del recipiente

$$n_r = \text{Calor neto que entró al recipiente} / \text{Calor total generado}$$

Eficiencia de control

$$n_{cc} = \text{Calor absorbido por el alimento} / \text{Calor neto que entró en el recipiente}$$

Eficiencia de cocinado

$$n_c = \text{Calor absorbido por el alimento} / \text{Energía potencial de la leña}$$

Eficiencia total

$$n_T = (n_c) (n_t) (n_r)$$

Eficiencia final

$$n = (n_{cc}) (n_c) (n_t) (n_r)$$

En el caso de la cámara de combustión, el hecho de poner materiales con alta masa térmica, como ladrillos, barro, cemento, etc., cerca del fuego puede tener un efecto negativo en la receptividad, la eficiencia del carburante y las emisiones de la estufa, ya que son materiales que absorben calor del fuego. En general, la eficiencia en estufas que utilizan estos materiales, en la cámara de combustión, es menor que los fogones de tres piedras, en estudios de laboratorio el material de mayor durabilidad demostró ser el hierro colado, aunque es más caro (Bryden et al 2006).

Los materiales de alta masa térmica, tienen la ventaja de ser baratos y conseguirse fácilmente, inclusive son materiales que se encuentran en muchos de los lugares donde se construyen las estufas. Por lo mismo, los diseñadores los utilizan modificando los diseños o dándoles algún tratamiento o combinación que los hagan durables y no permitan la absorción de calor, como es el caso de las piezas de cerámica que se han desarrollado en Kenia para la estufa Jiko o las estufas Justa y Eco Stoves (Eco Estufas) utilizadas en Centroamérica, en las últimas se utilizan piezas de cerámica refractaria hechas con una mezcla de arcilla, arena, estiércol de caballo y goma de árbol.

En Centroamérica Don O'Neal y el Dr, Winiarski localizaron un material alternativo conocido como baldosa, estas son de 2.5 cm de espesor y pueden cortarse conforme se requiera en la cámara de combustión, para aislar la cámara y aumentar el ahorro y eficiencia de la estufa, se coloca un material aislante suelto entre ésta y la parte exterior de la estufa. El aislante suelto puede ser ceniza, piedra pómez, vermiculita o perlita.

Se pueden usar cerámicas aislantes compuestas por diferentes materiales como aserrín, estiércol, carbón, vermiculita, perlita y piedra pómez, todas aglomeradas por arcilla (barro), mezcladas con agua y hechas en moldes del tamaño y espesor deseados, los ladrillos se secan y posteriormente se hornean. Los materiales orgánicos como el aserrín se queman al ser horneados, lo que deja espacios en los ladrillos que los hacen aislantes.

#### **2.2.2.2 Evaluación de Estufas Eficientes de Leña**

Existen algunos protocolos para evaluar la eficiencia de las estufas de leña, aunque las pruebas, según la literatura, se deben complementar con pruebas que simulen la cocción de alimentos de las personas y lugares donde será implementado y por un tiempo razonable para verificar su robustez.

Las evaluaciones hechas por las estufas ahorradoras se han basado en la mas aceptada desarrollada por Volunteers in Technical Assistance (VITA 1985) (Baldwin

1986) y que ha sido actualizada por la Universidad de California y Aprovecho Research Center (Shell 2004) Esta metodología permite comparar estufas desarrolladas en diferentes lugares. El proceso general es el siguiente:

Se inicia midiendo la temperatura ambiente, el peso de la olla (debe ser una olla similar a la que se utilizará para la estufa), no utilice la tapa de la olla. Prepare dos kilos de leña para la prueba de inicio en frío, dos kilos para la prueba de inicio en caliente y cinco kilos para la prueba de cocción a fuego lento. La leña debe ser de tamaño y características similares para todas las pruebas. Teniendo esta preparación, puede iniciar las tres pruebas denominadas técnicamente:

Tres son las pruebas de la metodología:

1. Prueba de ebullición de agua (Water Boiling Test, WBT)
2. Prueba de cocinado controlado (Controlled Cooking Test, CCT)
3. Prueba de funcionamiento en cocina (Kitchen Performance Test, KPT)

1) Prueba de ebullición de agua (PEA):

Es una prueba de simulación de cocinado donde el agua toma el lugar de los alimentos. A partir de esta prueba se calcula el índice de eficiencia térmica (nt) también llamado porcentaje de calor utilizado (PHU), el cual se utiliza como indicador de eficiencia de la estufa. La prueba tiene tres etapas:

- a) Alto poder – inicio en frío: se inicia con la estufa y, utilizando una cantidad conocida de leña, se pone a hervir agua en una olla de tamaño determinado verificando el tiempo y la cantidad de leña consumida para esta tarea.
- b) Alto poder – inicio en caliente: se coloca la olla con la misma cantidad de agua a temperatura ambiente y, con la estufa caliente, se pone a hervir el agua contabilizando el tiempo y el combustible utilizado. Estas dos fases son para identificar diferencias en funcionamiento entre una estufa cuando está fría y cuando está caliente.
- c) Bajo poder – fuego lento: consiste en mantener (con la estufa caliente) una misma cantidad de agua durante 45 minutos a una temperatura 3 grados por debajo del punto de ebullición, simulando una tarea de cocinado a fuego lento.

La eficiencia térmica se calcula multiplicando la masa total de agua (P), por el calor específico del agua (4.186 J/g°C) y el cambio en la temperatura ( $T_f - T_i$ ); más el producto de la masa de agua evaporada ( $W_v$ ) multiplicado por el calor latente de evaporación (2260 J/g). El denominador corresponde al producto del equivalente de leña seca consumida ( $f_d$ ) multiplicado por el valor calorífico neto correspondiente al tiempo de leña utilizada en la prueba (LHV) (MJ/kg).

$$n_t = [4.186 (P) (T_f - T_i) + 2260 (W_v)] / [f_d (LHV)]$$



## 2) Prueba de cocinado controlado (PCC):

Es una prueba para medir el consumo de combustible en una tarea de cocinado específica, se utiliza para comparar el funcionamiento en la preparación de una comida estandarizada en diferentes dispositivos.

Se calcula el peso de la leña consumida por el peso de alimentos preparados como índice de funcionamiento de cada estufa. Este indicador se denomina consumo específico de combustible (CEC) y es la cantidad de combustible requerido para llevar a cabo una tarea de cocinado. Se calcula el peso de leña consumida (equivalente seco) por el peso de alimentos preparados (kg):

$$CEC = F_d / W_f$$

Donde

$F_d$  es la leña seca consumida y

$W_f$  es el peso total del alimento preparado)

Esta prueba está diseñada para evaluar el funcionamiento de la estufa mejorada en relación a estufas comunes tradicionales en la ejecución de una tarea simple.

## 3) Prueba de funcionamiento en cocina (PFC):

Esta prueba evalúa el comportamiento de la estufa simulando la realidad de su uso.

Se analiza el consumo de energía durante un ciclo y se evalúan aspectos relacionados con su funcionamiento como salud, alimentación, aceptación de la

tecnología. Se obtiene un índice denominado “consumo específico diario que se refiere a la cantidad de leña consumida por adulto por día (kg leña/percápita/ día).

Esta evaluación sirve para comparar estufas eficientes ahorradoras de leña entre sí y con respecto a las tradicionales “fogones rústicos o de tres piedras”. También se puede comparar el uso de diferentes combustibles. Se pueden hacer mediciones diarias de consumo de combustible de la estufa tradicional y la mejorada y compararlas. Este análisis es de tipo longitudinal.

También se puede comparar la cantidad de leña (u otro combustible) usada en dos viviendas (con dos familias) durante una semana. La primer familia puede usar la estufa tradicional “fogón rustico” y la otra familia la estufa eficiente. Este estudio es de tipo transversal. Las dos familias deben ser similares en cuanto a número de personas y nivel socioeconómico para poder comparar su consumo energético.

El índice que se obtiene es el consumo específico diario y se refiere a la cantidad de leña consumida por adulto estándar por día. Un adulto estándar es el consumo promedio que requiere un hombre adulto (se considera que los niños, mujeres y ancianos requieren menos combustible). Para comparar el consumo de combustible de un adulto estándar con los demás miembros de la familia existe la siguiente tabla (FAO 1983):

## Factor de corrección “Adulto Estándar”

	Factor de corrección
Hombre de 15 a 59 años	1.0
Niños de 0 a 14 años	0.5
Mujeres mayores de 14 años	0.8
Hombres mayores a 59 años	0.8

Figura 2.2.1 Comparación del consumo de combustible de un “adulto estándar” (hombre de 15 a 59 años) con los demás miembros de la familia

Con estas pruebas, se pueden comparar estufas eficientes ahorradoras entre sí y con las estufas tradicionales o fogones rústicos que se utilizan en las comunidades rurales principalmente.

Además de las pruebas de esta metodología, es recomendable que las estufas eficientes y ahorradoras de leña se evalúen en función de condiciones normales de operación, deben cocinar de manera similar a un fogón tradicional o uno de tres piedras, deben poder freír, hornear, hervir, calentar, hacer tortillas, etc., y permitir el uso de recipientes de diferentes formas, tamaños y materiales. Pero dos son los aspectos técnicos más importantes de su operación (Díaz y Berrueta 2003):

- Combustión: para la combustión se requieren tres elementos, la leña, el oxígeno y una flama inicial. La leña está compuesta por celulosa (40-50%), hemicelulosa (15-25%) y lignina (20-30%) y su composición bioquímica es, carbono (49-50%), oxígeno (43-43%), otros (0.5-1%) (Baldwin, 1986)

- Transferencia de calor: consiste en emitir calor de los cuerpos calientes a los fríos. Esto se puede ver en los días fríos, cuando tenemos que usar mas ropa para reducir la transferencia de calor de nuestro cuerpo tibio al ambiente frío (el material térmico evita esa transferencia). Existen tres formas de transferencia de calor “radiación, conducción y convección.

Específicamente en el aspecto de la convección, en el proceso de construcción de prototipos a tomar en cuenta, es que medir la temperatura del aire que sale de la chimenea, si esta alcanza una temperatura mayor a 200 °C, aumente la superficie dentro de la estufa para poder utilizar más calor.

El Dr. Samuel Baldwin y el Dr. Larry Winiarski propusieron tres maneras de aumentar el intercambio térmico por convección:

- Los gases de combustión que rozan la superficie por calentar deben ser lo más calientes posibles.
- La superficie del intercambiado de calor debe ser lo mas grande posible
- La velocidad de los gases de combustión calientes debe incrementarse lo más rápido posible.

En el diseño de los componentes de las estufas ahorradoras de leña, es fundamental tomar en cuenta estos conceptos, con lo que se puede mejorar sustancialmente la eficiencia.

### 2.2.3 Biodigestores

La energía obtenida de la biomasa generada por desechos orgánicos de plantas, animales y humanos es una realidad en diversas partes del mundo y en México también se han tenido aplicaciones exitosas. Para aprovechar esta energía se requieren de Biodigestores, estos son dispositivos que pueden ser flexibles o rígidos y producen gas metano a partir de la digestión anaerobia, es decir sin presencia de oxígeno. Se han construido con capacidades diferentes según el tamaño y las necesidades de energía y la cantidad de materia orgánica disponible (Esquivel et al. 2000).

La digestión anaerobia es un proceso en el que los desechos orgánicos son transformados en una mezcla de gases, entre los que se encuentran el metano o biogás ( $\text{CH}_4$ ) que es aprovechable como bioenergético y puede servir para cocinar u otros usos térmicos. Cabe señalar que este proceso requiere de agua y ausencia de oxígeno. Otros productos que se obtienen son bioabono, ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y en menor cantidad otros gases. El poder calorífico del metano es  $5500 \text{ Kcal/Nm}^3$  (IDEA, Biomasa: Digestores Anaerobios 2007).

El proceso de biodigestión tiene las siguientes fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

La primera fase “hidrólisis” es cuando la materia orgánica está compuesta principalmente por biopolímeros (lignina, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, polisacáridos). Esta etapa depende de la temperatura y el tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato, del tamaño de las partículas, del pH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos de la hidrólisis (Speece 1983, Pavlosthesis y Gómez 1991). La composición básica de las macromoléculas en los sustratos son hidratos de carbono, lípidos y proteínas.

### **2.2.3.1 Características de los biodigestores anaerobios**

Para una buena operación, los biodigestores de tipo anaerobio deben ser herméticos tanto para evitar fugas de biogás como para evitar que entre oxígeno. Deben aislarse de tal forma que la temperatura se mantenga estable. Debe contener un dispositivo de seguridad (válvula de seguridad). Es necesario que tenga un sistema de remoción para romper las natas que se forman y mejorar el proceso de digestión. Además debe contar con filtros para eliminar el ácido sulfhídrico y bióxido de carbono y con un reservorio para almacenar el biogás (FAO 1997).

Los biodigestores pueden ser continuos o semicontinuos, horizontales o por lotes (discontinuos). Los continuos se usan principalmente para sistemas de tratamiento de aguas residuales, son instalaciones de tipo industrial y tienen dispositivos para proporcionarles la temperatura adecuada y la remoción continua. Los semicontinuos son dispositivos que se entierran y su forma puede ser cilíndrica, su producción de

biogás va de 0.5 a 1 volumen de gas por volumen del biodigestor. Son los más utilizados en las zonas rurales y los de mayor desarrollo son los tipo chino e hindú. También existe un tipo especial de biodigestor semicontinuo de tipo horizontal, estos son enterrados a poca profundidad y alargados, semejando un canal con una sección transversal cuadrada donde se coloca una bolsa cilíndrica en la cual se introduce la materia orgánica.

### **2.3 Tecnologías termosolares y bioenergéticas y su contribución al Desarrollo Sustentable de comunidades rurales marginadas**

El concepto de Desarrollo Sustentable expone la idea de conservar los recursos naturales para las generaciones futuras, aprovechándolos para mejorar las condiciones de vida de los seres humanos (Teissier 2006). Enrique Leff desde una perspectiva latinoamericana propone que se debe tener una racionalidad ambiental, desde la naturaleza en su conjunto y no solamente desde el ser humano (Leff et al 2000). La economía ecológica retoma este pensamiento y propone que el desarrollo debe considerar lo endógeno y lo exógeno. Lo que nos sirve para vivir y las externalidades que inevitablemente se producen al utilizar estos recursos en forma de materia y energía, el sistema económico debe considerar todo el ciclo de vida de todos los componentes del sistema planetario (Martínez 1998, Teissier 2006).

Las tecnologías termosolares y bioenergéticas tienen una relación directa con el concepto “Desarrollo Sustentable”, estas tecnologías utilizan energía solar o biomasa

local, las cuales se consideran renovables, por lo que se garantiza la posibilidad de obtenerla de manera continua, siempre y cuando su uso sea planeado y eficiente (Combetto et al 2000). Con esto se garantiza la conservación los recursos naturales y la disminución de la contaminación.

Según Combetto et al (2000) “la generación de energía de fuentes no convencionales, mediante el uso de recursos locales inagotables y renovables, se transforma en la única vía posible para iniciar un proceso de reactivación, que inicialmente produzca mejoras en la calidad de vida y detenga el deterioro ambiental, y en segunda instancia pueda generar una apertura en el modelo productivo”. Lo que incluye las tres esferas del Desarrollo Sustentable: social, económica y ecológica.

Un ejemplo importante es el uso de estufas ahorradoras de leña (tecnología bioenergética): En las comunidades rurales de Chiapas, el principal combustible para la cocción de alimentos y para calentar o hervir agua es la leña, en la mayoría se utilizan fogones tradicionales y de tres piedras que son ineficientes, lo que hace que el consumo de este combustible sea excesivo, por lo que tanto, las estufas ahorradoras de leña están enfocadas a disminuir este consumo, lo que implica disminuir la tala para este fin y a evitar un alto porcentaje de emisión de gases de efecto invernadero (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas 1981, Soares 2006).



Además del aspecto ambiental, las tecnologías termosolares y bioenergéticas tienen aplicaciones enfocadas a mejorar el aspecto social y económico, continuando con el ejemplo de las estufas ahorradoras, estas eliminan el humo de las casas o cocinas que provocan enfermedades respiratorias y de los ojos (Fath et al. 2005, Alazraki 2006, Junemann y Legarreta 2007). Las estufas pueden tener dispositivos que calentar agua para uso sanitario que puede utilizarse para bañar a los recién nacidos o para épocas de frío, o pueden utilizar otras fuentes de energía como el biogás y los pellets, que disminuye la dependencia de la leña como única fuente de energía para cocción de alimentos, además permiten utilizar mayor tiempo a otras actividades al no utilizar grandes cantidades de leña.

Según Combetto et al (2000) en un estudio realizado en Argentina “la creciente conciencia que se ha ido generando en la comunidad (El Moreno) respecto del agotamiento de leña y su consiguiente transformación de un recurso libre a un recurso caro, generó la inquietud por mejorar los artefactos utilizados para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua”.

Otra tecnología bioenergética para mejorar las condiciones de vida en las zonas rurales, es el caso de los biodigestores, estos artefactos además de evitar que los desechos orgánicos de animales o humanos contaminen, también producen un biofertilizante con alto contenido de nutrientes, que se puede utilizar para las hortalizas de traspatio u otros cultivos. En un estudio realizado por Cobetto et al (2000) el biodigestor suscito gran interés por parte de los pobladores, pero no fue

utilizado de manera generalizada por no pasar por una necesaria etapa de adopción por parte de los beneficiarios potenciales. Lo que implica tomar en cuenta la apropiación y participación comunitaria, que es fundamental para las sustentabilidad temporal (la tecnología debe permanecer en el tiempo).

Para la seguridad alimentaria y la conservación de alimentos, los secadores solares son probablemente las tecnologías más antiguas de tipo termosolar, su versión mas simple es la de intemperie extendida, que es la de exponer los productos al sol de manera directa en una superficie plana y abierta (Osman y Can 2001), los secadores sirven para conservar los productos agrícolas o para realizar el proceso de secado que tradicionalmente se hace al café, maíz, cacahuate, chile, etc. , también utiliza una fuente de energía limpia y funciona bajo el principio de termosifón, puede ser de tipo directo o indirecto, pasivo o activo (Finck 2008).

Pantoja et al. han desarrollado varios secadores solares, dos de los cuales fueron evaluados en forma experimental con resultados que disminuyen los procesos de secado de 5 días que se requieren con la técnica de intemperie extendida a 1 día, mejorando la calidad del producto y el aislamiento de plagas y roedores, el uso de éstos pueden impactar en la alimentación y la economía de la comunidad.

Los calentadores de agua termosolares, son para uso sanitario que evitará que se enfermen los grupos vulnerables, como son los bebés y ancianos, sobre todo en la época invernal. Su inversión inicial parece importante, pero su recuperación

evaluando la cantidad de energía requerida en términos crematísticos es en dos años. Su uso disminuye el uso de leña, gas, petróleo u otro combustible de origen fósil o de la biomasa.

Los destiladores solares sirven para obtener agua pura que se puede utilizar para fines clínicos o para las baterías de los sistemas fotovoltaicos, ya que en esta comunidad no existe energía eléctrica y los sistemas fotovoltaicos diseñados que se implementarán tienen un subsistema de acumulación que requieren de agua destilada.

Además de los impactos en lo social, económico y ecológico dirigidos por el equipo interdisciplinario, el desarrollo sustentable se refleja con la independencia energética, los cambios del precio de energéticos provenientes de combustibles fósiles afectarán menos a la comunidad y podrán seguirse beneficiando de las tecnologías que utilizan el potencial energético local.

En el proceso de implementación de las tecnologías se debe iniciar con la identificación y selección de las comunidades, la valoración de las condiciones socioeconómicas, de infraestructura básica y la actitud de las personas, además de los potenciales energéticos locales de tipo renovable. Posteriormente deben hacer estudios desde varias disciplinas para obtener información y definir estrategias de intervención y programas de sensibilización, concientización, capacitación, entre

otros, que permitan la permanencia y el uso eficiente de las tecnologías, principio fundamental para su sustentabilidad (Kniffki et al 2010).

Aunque las posibilidades de las tecnologías que utilizan fuentes de energía renovable son palpables para contribuir al desarrollo sustentable de las comunidades, según Combetto et al 2000: “no podemos contentarnos con un análisis parcial de la situación. Las tecnologías energéticas alternativas, por sí solas no aportan soluciones mágicas a los problemas de bajos niveles de calidad de vida de las poblaciones rurales aisladas, o marginales respecto a las redes convencionales de electricidad”. Lo que nos lleva a la reflexión de que la orientación por parte de los gestores y la participación y apropiación de las tecnologías por parte de los pobladores es fundamental para la permanencia e impacto real de las tecnologías que puedan acercar a la sustentabilidad a este tipo de comunidad.

## CAPÍTULO 3. MÉTODOS

### 3.1 Proceso General de Intervención Comunitaria

El proceso de intervención comunitaria de la presente tesis, tiene varias etapas que se describen en los siguientes párrafos. De forma general, las soluciones planteadas tiene relación con la problemática, los potenciales energéticos, naturales y socioculturales de la comunidad y un enfoque hacia el desarrollo sustentable (Figura 3.1.1). En todo el proceso, la participación del equipo de trabajo de académicos-estudiantes y sobre todo de la comunidad fue importante para definir las tecnologías propuestas. La “Metodología Comunitaria para el Desarrollo Social” (MECOM) se tomó como el eje del proceso de intervención, junto con elementos conceptuales de la Metodología de “Sistemas Ambientales Complejos” de Rolando García.



Figura 3.1.1 Proceso de Intervención para desarrollar e implementar tecnologías para aprovechar los potenciales naturales (energéticos) dirigidas al desarrollo sustentable de comunidades rurales marginadas.

### 3.1.1 Selección de la Comunidad

La primera etapa es la selección de una comunidad rural con características de marginación similares a las de los 28 municipios más pobres del estado de Chiapas, por lo mismo se tomo como primer criterio visitar comunidades que no tuvieran servicios públicos como energía eléctrica, agua potable, drenaje, educación y salud; que la mayoría de las viviendas tuvieran una situación precaria: con piso de tierra, paredes de madera o adobe, etc., y otros elementos como utilizar fogones rústicos o de tres piedras para la cocción de alimentos y que sus procesos agrícolas fueran rudimentarios, como el secado de productos a intemperie extendida.

También se tomaron como criterios de elegibilidad el fácil acceso, porque este proyecto es integral en cuanto a la atención global y jerarquizada de necesidades y la intención es que sea de referencia para su replicabilidad a comunidades similares. También debía tener una buena organización interna, sin conflictos sociopolíticos ni religiosos y que su tamaño estuviera entre 80 y 100 habitantes (Figura 3.1.2).



Figura 3.1.2 Selección de la Comunidad. N. Farrera y P. López

Después de visitar varias comunidades del municipio de Cintalapa para hacer la selección, se tomó la decisión de trabajar con la comunidad Monte Horeb, dicha comunidad está a dos horas con quince minutos de Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas y lugar donde se encuentran las universidades participantes y a una hora con quince minutos de Cintalapa, donde se encuentran las oficinas del gobierno municipal y otras oficinas que representan al gobierno estatal y federal con

quienes trabajaríamos en equipo. La comunidad Monte Horeb cumplió con los criterios de elegibilidad mencionados.

### **3.1.2 Primera Reunión con la Comunidad**

Monte Horeb es una comunidad pequeña, por lo que se tuvo la posibilidad de realizar una primera reunión con al menos un integrante de cada vivienda, por la cultura (indígenas tzotziles y tzeltales) solo llegaron hombres.

En esta reunión, se explicó el proceso general de trabajo de los académicos junto con la comunidad. Se pidió que en todo el proceso participaran las mujeres y en algunos momentos los niños y jóvenes. Este proceso consiste en un trabajo de conciencia de la historia y el presente de la comunidad, de un diagnóstico socioeconómico y de los potenciales energéticos, con el fin de entender la problemática y luego identificar las necesidades y jerarquizarlas. Posteriormente, la valoración de las soluciones, las propuestas tecnológicas, la evaluación inicial por parte de los miembros de la comunidad y la propuesta final y su evaluación.

### **3.1.3 Visitas de Campo**

Se realizaron una serie de visitas y recorridos (Figura 3.1.3) para conocer y analizar la situación de la comunidad y conocer los potenciales naturales “principalmente energéticos”, además se realizó un proceso de reflexión y reconstrucción de su



historia y su presente, con énfasis en entender su entorno natural y social y la relación de lo global con lo local (Figura 3.1.4) (Kniffki et al 2010).



Figura 3.1.3. Recorrido de estudiantes, académicos y miembros de la comunidad para evaluar los potenciales energéticos. Fotos: N. Farrera

Para este proceso se utilizan diversas herramientas de obtención de datos y análisis así como de sensibilización e integración de la misma comunidad y de los miembros del grupo de investigación con la comunidad. Dos métodos utilizados en la obtención de información se presentan a continuación (encuesta y entrevista).



Cascada con potencial para producción de energía minihidráulica



Aserrín en lugares cercanos a la comunidad



Radiación solar suficiente para sistemas fotovoltaicos



Estiércol con potencial para producción de biogás

Figura 3.1.4. Principales Potenciales energéticos encontrados en Monte Horeb y sus alrededores.

Fotos: N. Farrera

### 3.1.4 Encuesta

La encuesta se aplicó en el mes de junio del 2009, el instrumento se diseñó con una parte introductoria de datos generales de los habitantes de las viviendas y datos socioeconómicos. Los demás componentes de la encuesta tienen que ver con los potenciales energéticos y el uso en la comunidad, se clasifico.

Para el proceso de aplicación se formaron dos equipos de un académico y tres estudiantes. Se enumeraron las viviendas y se dibujó un mapa para dividir el trabajo

en dos partes. La aplicación fue en sí misma una experiencia para los equipos, ya que los participantes interactuaron y conocieron con mayor detalle la situación y uso de la energía en la comunidad (Figura 3.1.5). Posteriormente, los datos fueron concentrados para su procesamiento y análisis.



Los equipos de estudiantes se distribuyeron para aplicar la encuesta y conocer la situación socioeconómica de los habitantes, sensibilizándose y estableciendo empatía con la comunidad



Los estudiantes conocieron el interior de las viviendas y obtuvieron la información requerida



Estudiantes, académicos y miembros de la comunidad después de la aplicación de la encuesta

Figura 3.1.5. Aplicación de la Encuesta. Fotos: N. Farrera

### 3.1.5 Entrevistas

Otra forma de obtención de datos fue la realización de entrevistas a sujetos clave de la comunidad (Figura 3.1.6), estas entrevistas fueron dirigidas no estructuradas, se grabaron y se transcribieron. En dichas encuestas se preguntó sobre las

características de la comunidad, recursos energéticos, flora, fauna, aspectos culturales, conflictos, educación, salud, y sobre todo la percepción sobre el proceso de intervención que se estaba realizando.



Figura 3.1.6. Entrevista a habitantes de la Comunidad Monte Horeb. Foto: P. López

### 3.1.6 Análisis de Datos Socioeconómicos y de los Potenciales Energéticos

Después de la aplicación de la encuesta se realizó el procesamiento que incluyó la construcción de una base de datos y el análisis y generación de gráficas e indicadores estadísticos en el software SPSS.

### 3.1.7 Reunión con la Comunidad para Determinar Necesidades y Jerarquizarlas

Tanto en los recorridos, la encuesta, las entrevistas y las reuniones participativas, se determinaron la problemática y las necesidades prioritarias desde la perspectiva de los habitantes del lugar (Kniffki et al 2010). Desde el punto de vista de la sustentabilidad, esto fue importante, ya que se partió de un proceso consciente de los miembros de la comunidad, lo que fortaleció la intervención y las propuestas tecnológicas para su permanencia en el tiempo (Figura 3.1.7).



Figura 3.1.7. Participación de los habitantes en el proceso, incluyendo mujeres y niños. N. Farrera

En este sentido, las tecnologías que se han desarrollado con el equipo de investigación, toman en cuenta la viabilidad económica, social y ambiental. Es decir, en primer lugar el concepto se determinó a partir de las necesidades de los

habitantes y los potenciales energéticos locales. El concepto de las tecnologías incluyó que deben ser factibles de construir financieramente, ya sea con recursos públicos, de alguna fundación o de los beneficiarios o una combinación de estas fuentes financieras. Deben ser fáciles de construir y de mantener e inclusive la comunidad debe participar en la construcción o instalación. Y debe utilizar materiales locales y disminuir al máximo la posibilidad de contaminar.

Una de las necesidades determinadas en el diagnóstico fue mejorar la cocción de alimentos eliminando el humo del interior de las cocinas o viviendas con un ahorro de leña, que en el 100% de las viviendas de la comunidad es el combustible utilizado para este propósito (Figura 3.1.8). Además se consideró la necesidad de ahumar la carne y calentar agua para uso higiénico que se requiere.



Figura 3.1.8. Necesidades identificadas: Cocción de alimentos, eliminación de humo, consumo de leña y agua caliente. Fotos: N. Farrera

Para contribuir a la disminución del consumo de leña y de la contaminación del manto freático por los desechos orgánicos de animales y humanos (Figura 3.1.9) se determinó, junto con los habitantes de la comunidad, diseñar y construir un prototipo de biodigestor que produzca gas metano y bioabono que serán utilizados en la cocción de alimentos y cultivos de traspatio respectivamente. Dicho biodigestor será integrado a la estufa diseñada que además de leña, utiliza aserrín (abundante en la zona) y el propio gas producido por el biodigestor.



Figura 3.1.9. Desechos que contaminan el manto freático en Monte Horeb. Fotos: N. Farrera

Además de la estufa y biodigestor, el diagnóstico y los pobladores determinaron el secado de productos agrícolas como otra necesidad (Figura 3.1.10), por lo que se diseñó y evaluó un prototipo de secador solar para este propósito.



Figura 3.1.10. Necesidad de secado de productos agrícolas en Monte Horeb. Foto: N. Farrera

### 3.1.8 Propuestas de Tecnologías

Una vez determinadas las prioridades de la comunidad y posibilidades del equipo de trabajo, se determinó el problema y propuestas de solución de ingeniería. En este caso, se trabajó con equipos de estudiantes y académicos en el diseño y construcción de prototipos de las tres tecnologías determinadas: “estufa, biodigestor y secador solar”.

Este proceso configuró un método de trabajo en el que se pasaba de las ideas a la práctica, sin perder de vista la importancia de la dirección del trabajo hacia el objetivo y el concepto inicial de la tecnología, se tuvo que trabajar en el uso de materiales adecuados y enfrentar cambios por las dificultades presentadas en el proceso de



fabricación. Las etapas de desarrollo fueron similares al definir y construir los prototipos (Figura 3.1.11). A continuación se presentan las tres etapas que engloban el proceso:

- Una vez realizado el análisis en la comunidad y determinada la necesidad, se realiza una discusión inicial (con el grupo de investigación) sobre las características y restricciones, paralelamente se realizó una investigación documental y posteriormente se llegó a conceptualizar las tecnologías.
- Después de determinar el concepto general, se planteó un plan de trabajo tanto para el diseño y modelación virtual como para la construcción de los prototipos.
- El equipo de trabajo construyó el prototipo de acuerdo a las características determinadas, modificando solo en caso de ser necesario, ya sea por la funcionalidad o por los materiales.

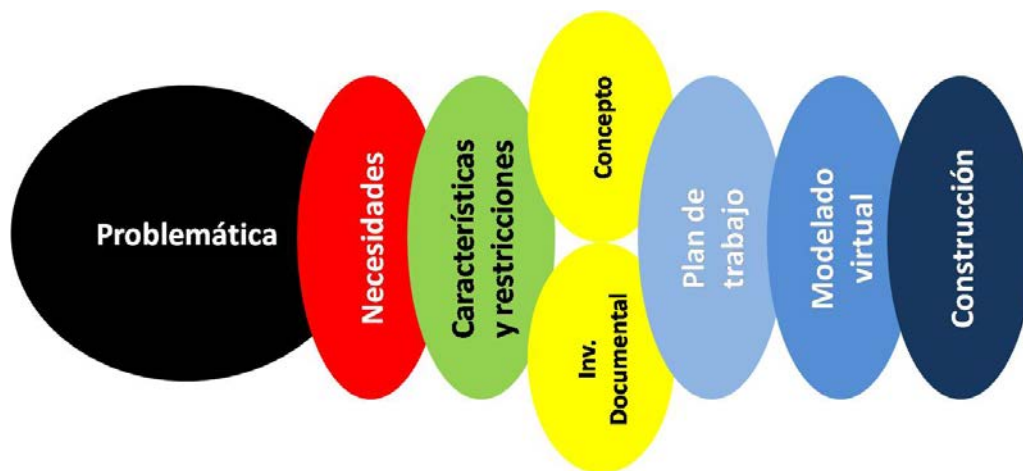


Figura 3.1.11. Proceso general de diseño y construcción de los prototipos

### **3.1.8.1 Conceptualización de la Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj**

Se han desarrollado estufas ahorradoras de leña como la Patsari, Lorena, Onil, Túumben K'óoben, entre otras, las cuales han solventado los problemas identificados en diversos estudios (CATIE 1994, Díaz y Berrueta 2003, Nañez 2005, Masera et al 2005). Sin embargo, dichos modelos tienen algunos inconvenientes, tales como el estar diseñados para utilizar un tipo de combustible, dejando fuera la posibilidad de aprovechar recursos como el aserrín o biogás; ser dispositivos que al estar constituidos por materiales de construcción, tales como bloques, cemento, barro, varillas, etc., deben ser construidos en el lugar y en muchas ocasiones por personas que no poseen el conocimiento adecuado para realizar dicha actividad; estos modelos actuales, al enviar directamente el humo hacia el exterior de la vivienda, impiden su uso para la conservación de carne, lo que es tradicional en las comunidades rurales del estado de Chiapas. Además, el poder calorífico contenido en los gases de combustión, que salen al exterior por la chimenea, no es utilizado en aplicaciones tales como calentamiento de agua, secado de productos o calefacción de la vivienda.

Partiendo de las necesidades y problema (Figura 3.1.12) de ingeniería definidos junto con la comunidad y del análisis de los principios de diseño y experiencias de

investigaciones realizadas a nivel internacional, en México y la región de estudio, se planteó una propuesta inicial de la estufa con las siguientes características básicas:

1. Estufa ahorradora de energía (principalmente leña)
2. Que utilice diferentes combustibles renovables locales
3. Que tenga una funcionalidad similar o mejor a los fogones tradicionales (en cuanto al tiempo de cocción de alimentos y tiempo para hervir agua)
4. El costo debe ser competitivo, de acuerdo al mercado regional
5. Debe ser resistente y durable
6. Fácil de mantener y sustituir componentes



Figura 3.1.12. a) La cocción de alimentos de manera eficiente y saludable una prioridad,  
b) Problema de ingeniería. Foto: N. Farrera

El resultado de esta propuesta fue un prototipo de estufa ahorradora (denominada Lekil Vaj (Primera versión: Figura 3.1.13 y 3.1.14) que además de mantener el bajo costo de las estufas ahorradoras anteriormente mencionadas, permite ofrecer un

esquema que mejora la eficiencia integral del sistema así como ofrece una mayor versatilidad, debido a que:

1. Incluye la posibilidad de utilizar otras fuentes energéticas como son el biogás y el aserrín, que se encuentran disponibles en muchas de las comunidades rurales.
2. Para la construcción de la estufa se utilizan materiales resistentes y abundantes en el mercado, los cuales pueden ser ensamblados con gran facilidad en las comunidades.
3. Por su forma circular, medidas de seguridad y protección puede ubicarse de forma tal que los miembros de la familia no solo compartan los alimentos alrededor de la misma, sino también se beneficien del confort generado por la temperatura irradiada por el dispositivo.
4. Los gases de la combustión de la leña antes de ser emitidos hacia el exterior de la vivienda son aprovechados para ahumar carne u otros productos al incluir una cámara especial para este propósito (Versión final: Figura 3.1.15).
5. Aprovecha el calor de los gases de combustión que se expulsan al calentar el agua de un termotanque integrado a la estufa



Figura 3.1.13. Modelo de la primera versión de la estufa Lekil Vaj.



Figura 3.1.14. Primer Prototipo de Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj y pruebas iniciales de funcionamiento. Fotos: N. Farrera

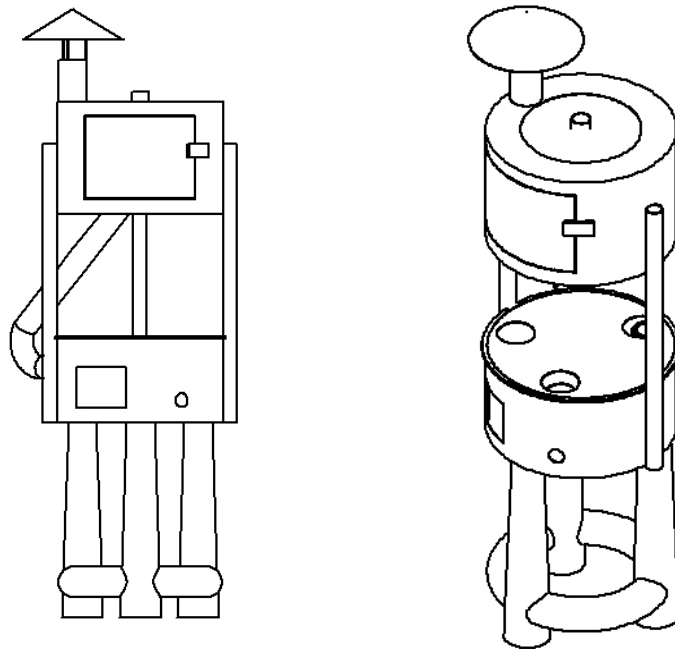


Figura 3.1.15. Modelado de la Versión final de la estufa Lekil Vaj, integración de los componentes e inclusión de ahumador de carne. Esquema: N. Farrera

### 3.1.8.2 Conceptualización del Secador Solar para Productos Agrícolas

El concepto de secador solar se desarrolló pensando en cubrir las necesidades de secado de productos agrícolas de autoconsumo de la comunidad seleccionada, y con la posibilidad de que sirva para comercializar los excedentes que produzcan, con la ventaja de que se conserven por más tiempo y que tengan mayor calidad. Este secador además de tener características de eficiencia de secadores construidos anteriormente (Pantoja et al), incluye las siguientes mejoras (Figura 3.1.16):



Figura 3.1.16. Secador Solar Multipropósito hecho con materiales térmicos prefabricados. Foto: N.

Farrera

1. Los materiales de paredes y piso son de larga durabilidad, ya que son prefabricados y especialmente desarrollados para la intemperie.
2. Los paneles utilizados son de aluminio en el exterior, por lo que es inoxidable, y contiene un aislante entre la cubierta metálica, este material no permite fugas ya que está completamente sellado.

3. El proceso constructivo es simple, ya que se utilizó una estructura para atornillar los componentes que forman la cámara de secado.
4. Tiene puertas en la parte frontal y trasera, lo que permite un fácil manejo de los productos a secarse.
5. La ventilación forzada aumenta la eficiencia y calidad de secado

En Monte Horeb se producen diversos productos que requieren de secado: chile, cacahuate, semillas de calabaza, maíz, entre otros. Además de que esta tecnología contribuye a la seguridad alimentaria local, la intención es que en época de sobreproducción o de falta de transporte, el secado permita conservar dichos productos para su comercialización, el secador propuesto tiene características específicas para la comunidad Monte Horeb como lo son: resistencia al los efectos de la intemperie, colector solar directo en la parte superior de la cámara de secado lo que evita accidentes con animales y niños, funcionalidad simple ya que se colocan los productos en las bandejas de secado (Figura 3.1.17) y luego se extraen, el tamaño permite usarlo en los productos locales. En una primera etapa, está contemplado que sea un secador comunitario de prueba.

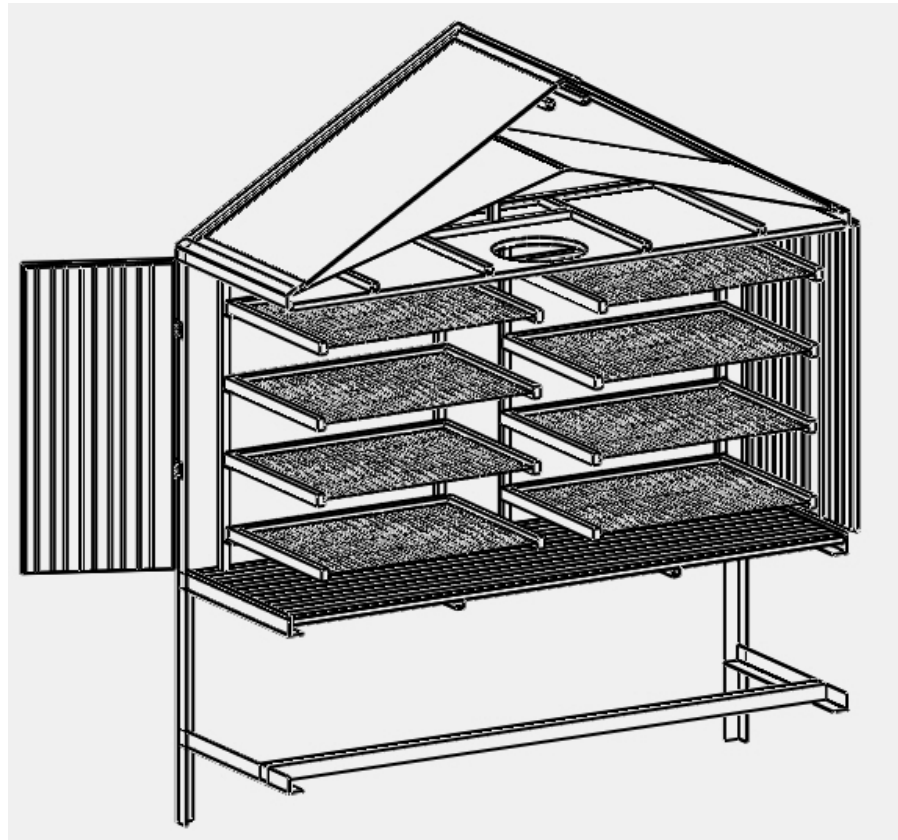


Figura 3.1.17. Secador Solar (vista interior/corte sección A-A).

### 3.1.8.3 Conceptualización del Biodigestor Rígido

Después de analizar diversos biodigestores tradicionales, entre los que se encuentran el “tailandés” y el “chino”, se determinó un concepto de biodigestor rígido que utiliza un depósito tipo tinaco (polietileno).

Se modeló y se construyó un primer prototipo que posteriormente evolucionó hasta su versión final, que se presenta a continuación en su en su formato virtual (Figura 3.1.18):



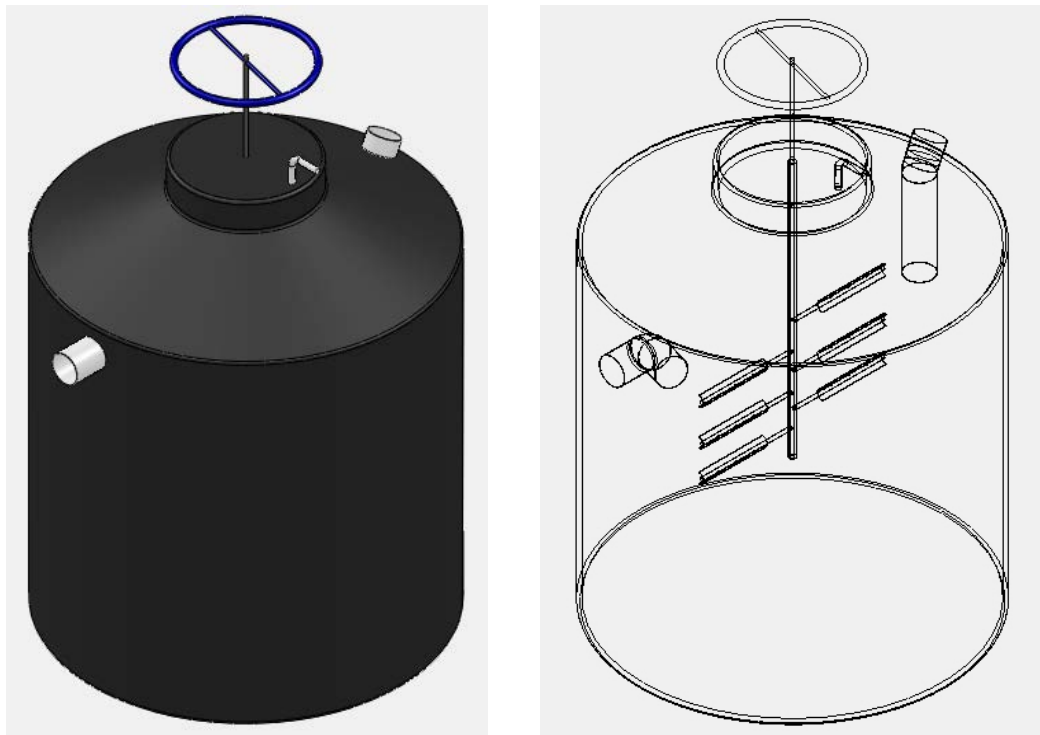


Figura 3.1.18. Modelo final de biodigestor rígido

### 3.1.9 Pruebas Iniciales

Las tecnologías desarrolladas llegaron a su versión final después de varios cambios. La estufa multifuncional ahorradora “Lekil Vaj” tuvo tres versiones, en todas se mantuvo el concepto inicial en el que se planteó utilizar tres fuentes de combustible, pero mientras que en la primera solo tenía un aditamento “calentador de agua” a la segunda versión se le agregó un ahumador de carne independiente y la tercera tuvo los mismos componentes pero integrados, lo que le dio mayor funcionalidad y estética.

El biodigestor DM-1 tiene dos versiones alternas con variantes en sus aditamentos. Aunque todos tienen el mismo concepto general y son de tipo semicontinuo rígido. Y en el caso del secador propuesto, este es una innovación de versiones previas hechas por académicos del grupo de investigación (Pantoja et al 2007 - 2010), la principal innovación es en los materiales y el proceso de fabricación, que tuvieron como propósito darle mayor durabilidad y rapidez en la fabricación en serie, manteniendo la eficiencia.

En todos los casos, para llegar a la versión final, se tomaron en cuenta comentarios y propuestas de expertos de organizaciones rurales y campesinas, académicos y miembros de dependencias de gobierno relacionados con el tema del desarrollo de comunidades rurales (las tecnologías se presentaron en foros, congresos, etc.). Esto fue importante en la innovación, pero las características finales fueron determinadas por los miembros de la comunidad.

### **3.1.10 Evaluaciones Finales**

Las versiones finales de las tecnologías fueron evaluadas y comparadas con las tecnologías tradicionales utilizadas en las comunidades, se midió principalmente su eficiencia, funcionalidad y se estimaron algunos impactos sociales, económicos y ambientales, que nos indican en qué grado se mejoran las condiciones de vida de los habitantes de las comunidades.

### **3.1.10.1 Diseños Experimentales de las Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas**

#### **3.1.10.1.1 Estufa Multifuncional Ahorradora**

La evaluación de la estufa se realizó tomando de referencia la “Prueba de ebullición de agua” (Water Boiling Test, WBT), y la “Prueba de cocinado controlado” (Controlled Cooking Test, CCT) ambas establecidas por Volunteers in Technical Assistance (VITA 1985).

Por otro lado, se diseñaron experimentos para conocer la funcionalidad y eficiencia de acuerdo a los requerimientos de cocción de alimentos de la comunidad rural seleccionada y se midieron las variables temperatura y tiempo.

Para estas evaluaciones se establecieron dos principios de uso de las estufas, la evaluación en frío y la evaluación en caliente.

Por otro lado, las evaluaciones realizadas en el prototipo se hicieron también en un fogón tradicional rústico, con cocción a fuego directo, simulando el proceso de cocción de la comunidad seleccionada.

Las mediciones de la temperatura en los diferentes puntos seleccionados se hicieron con termopares tipo k, un multímetro marca STEREN con capacidad de medir hasta 750 °C (1400 °F) y una pistola termómetro de luz infrarroja marca Fluke modelo 572, con capacidad de medir desde -30 °C a 900 °C.

#### **3.1.10.1.2 Secador Solar: Diseño Experimental**

El experimento para determinar la eficiencia y funcionalidad del secador se diseñó de acuerdo a las condiciones de trabajo a las que estará expuesto en la comunidad y a los conceptos revisados en la fundamentación teórica. Las evaluaciones se realizaron del 6 al 20 de febrero en Tuxtla Gutiérrez, con radiación solar directa, ya que es un mes sin nubosidad y sin precipitaciones pluviales en la región de la Meseta Central de Chiapas, donde se encuentra la comunidad seleccionada y el municipio de Tuxtla Gutiérrez.

En la evaluación, las variables que se tomaron en cuenta fueron: radiación solar, temperatura en diferentes partes del secador, y humedad relativa. Como se mencionó en el capítulo dos, el objetivo del secador es disminuir la humedad de productos agrícolas, según la literatura dichos productos tienen inicialmente hasta 80% de humedad y deben disminuir esta variable hasta 12% de humedad, la cual se denomina humedad de equilibrio.

Para evaluar el secador se colocaron termopares tipo k que registraban la temperatura en diferentes partes del secador tales como: cámara de secado, colector solar y placa negra del colector, y con ayuda de un multímetro digital de gancho ESTEREN se tomaron las mediciones a intervalos de tiempo fijos de media hora, desde las 7am hasta las 6 pm.

A su vez se registro en los mismos intervalos la humedad relativa del aire dentro la cámara de secado a intervalos de 1 hora desde las 7 am hasta las 6 pm, usando un sensor de humedad digital marca Hanna HI-9828.

El registro se realizó durante un periodo de 15 días, en los cuales se determinaron las variaciones de los parámetros evaluados con el propósito de poder hacer una comparación con los mismos parámetros del aire ambiente.

#### **3.1.10.1.3 Biodigestor Rígido**

El biodigestor evaluado tiene capacidad de 1100 litros, se instaló en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, las variables que se tomaron en cuenta fueron pH, temperatura al interior del biodigestor, temperatura al exterior (medio ambiente) y presión en el sistema. El biogás se midió con un sistema de desplazamiento de agua que se instaló entre el biodigestor y el reservorio (bolsa de polietileno con capacidad de 800 litros). La aplicación y evaluación de funcionamiento fue con la estufa multifuncional ahorradora Lekil Vaj que tiene un quemador convencional de gas.

Se realizaron 4 cargas de materia orgánica (estiércol de ganado vacuno) se introdujeron 924 litros en la primera, 883 en la segunda, 891 en la tercera y 878 en la cuarta carga. Se llevó a cabo un monitoreo permanente diario, desde la primer carga, hasta

## **3.2 Área de Estudio**

### **3.2.1 Localización**

El estudio se realiza en el estado de Chiapas, éste se encuentra al oriente de México, limita al oeste con Oaxaca, al norte con Veracruz y Tabasco, al este con Guatemala y al sur con el océano pacífico. La comunidad seleccionada “Monte Horeb” se encuentra al Oriente del municipio de Cintalapa, éste municipio se encuentra en la región Centro, limita al este con el municipio de Tecpatán, Ocozocoautla de Espinoza y Jiquipilas, al sur con Arriaga, al norte con el estado de Veracruz y al oeste con Oaxaca. La comunidad está cerca de Oaxaca y al oriente de la capital del Estado (Tuxtla Gutiérrez) como se puede observar en la Figura 3.2.1 y 3.2.2.

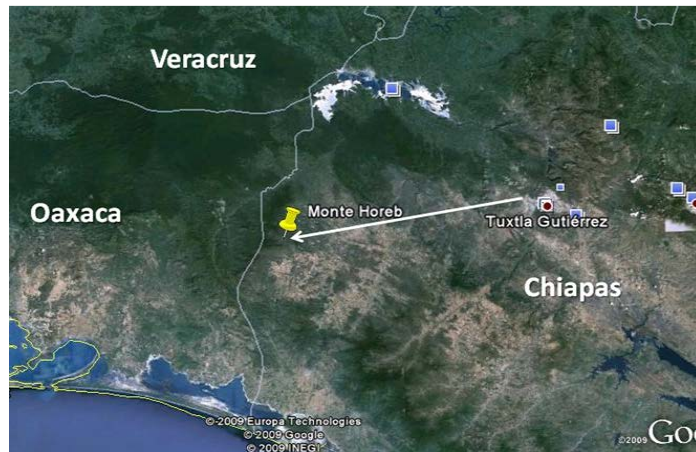


Figura 3.2.1. Ubicación de Monte Horeb, Municipio de Cintalapa en relación a Tuxtla Gutiérrez.

Fuente: Google Earth 2009



Figura 3.2.2. Ubicación de Monte Horeb en el estado de Chiapas y en México. Fuente: Google Earth

Monte Horeb tiene una extensión de 103 hectáreas sus coordenadas son  $16^{\circ} 40' 18''$  N latitud,  $93^{\circ} 58' 06''$  longitud y tiene una altitud de 850 metros. Esto se determinó con un navegador GPS (Figura 3.2.3).

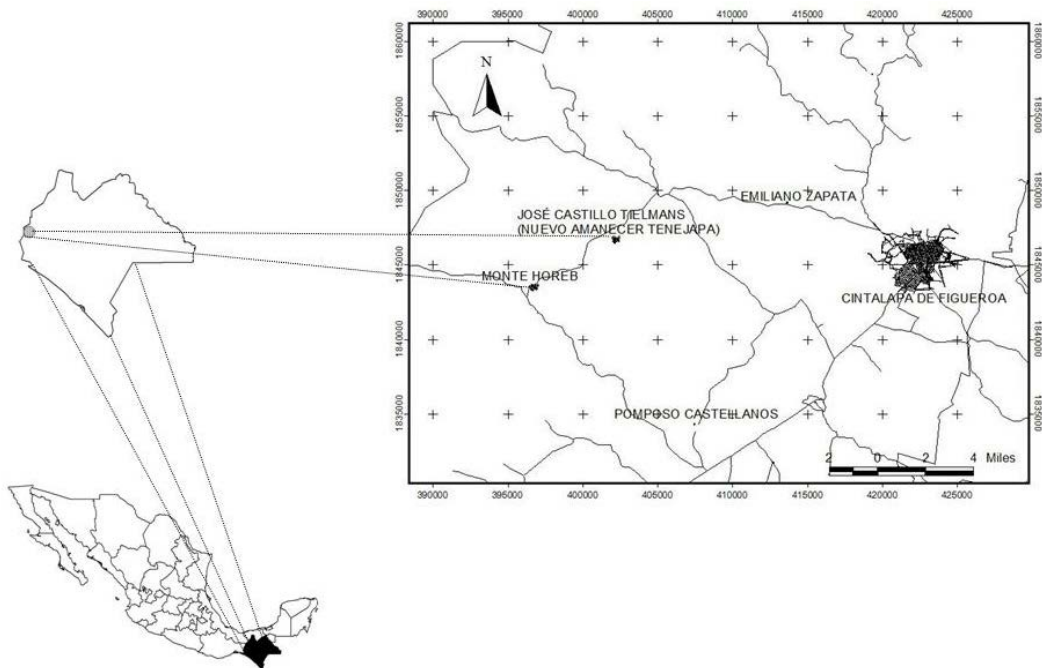


Figura 3.2.3. Comunidad Monte Horeb. Imagen: A. Velasco

### 3.2.2 Orografía

La topografía es plana y semiplana, aunque a los alrededores existe lomerío suave (Figura 3.2.4).





Figura 3.2.4. Vista aérea de la Comunidad Monte Horeb. Foto: P. López

### 3.2.3 Geología

En la región existen rocas ígneas intrusivas (granitos y granodioritas) principalmente (Figura 3.2.5) (Arvizu y Davila 1982)

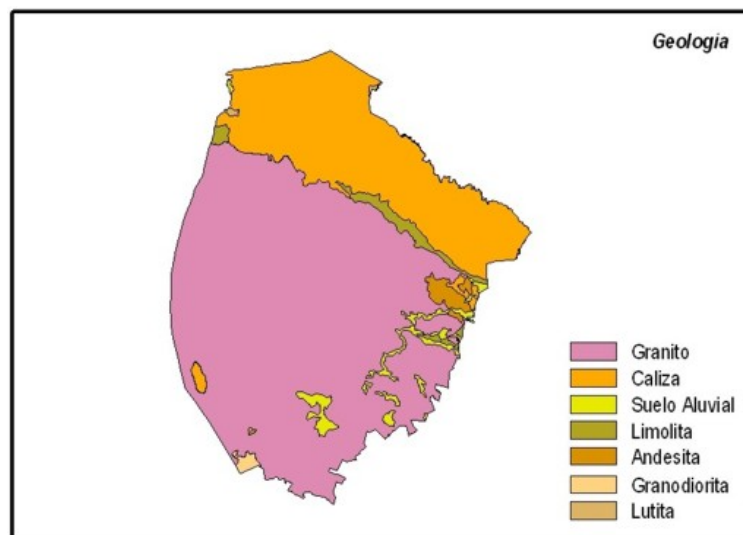


Figura 3.2.5. Mapa Geológico. SHCP. Perfiles 2008.

### 3.2.4 Hidrografía

Río la cascada, este es un río perenne, el escurrimiento proviene de la cascada localizada al oeste de la comunidad y la rodea por el sur y este (Figura 3.2.6). El agua para consumo humano lo toman de un pozo artesiano (Figura 3.2.7) localizado al norte de la comunidad. Al norte de la comunidad pasa el río chiquito, este es un río de tipo perenne.



Figura 3.2.6. Río La Cascada. Foto: N. Farrera



Figura 3.2.7. Pozo artesiano utilizado para consumo humano. Ubicado en la parte norte de la comunidad. Foto: N. Farrera

### 3.2.5 Climas

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano

### 3.2.6 Vegetación y uso de Suelo

Bosque de coníferas pino-encino, pastizales inducidos, suelos acrisol, fluvisol. El uso de suelo es principalmente para agricultura temporal de maíz, frijol, cacahuate y hortalizas (Figura 3.2.8)



Figura 3.2.8. Vegetación y uso de suelo. Foto: N. Farrera

### 3.2.7 Fauna

Gran variedad de especies predominando culebra ocotera, ardilla voladora, jabalí, venado de campo, venado cabrío, zorrillo espalda blanca y tejón.

### 3.2.8 Situación Socioeconómica

La población total de Monte Horeb es de 80 personas, la población es indígena, en su mayoría Tzotziles (Figura 3.2.9). Carece de servicios públicos como electrificación de la red de Comisión Federal de Electricidad (CFE), agua potable y drenaje. La

comunidad cuenta con una escuela de tipo CONAFE con el nivel preescolar y primaria, lo que implica tener dos capacitadores que hacen las funciones de docentes de los diferentes grados de cada nivel.



Figura 3.2.9. Familia en la Comunidad Monte Horeb. Foto: N. Farrera

El promedio de edad es de 19.2 años con una desviación estándar de 16.45 años (Figura 3.2.10), aunque la mayoría de los habitantes son desde recién nacidos hasta los 15 años (71.88%). En la tabla se presenta la información completa sobre las edades.

N = 80	
Media	19.2150
Mediana	13.0000
Moda	11.00
Desviación Estándar	16.45913
Rango	60.90

Figura 3.2.10. Datos estadísticos de la población

La mayoría de los niños están en etapa de estudiar el nivel preescolar y primaria (Figura 3.2.11), por lo que la escuela cuenta con dos aulas, una para cada nivel. La escuela es de madera con techo de lámina y piso de tierra, cuenta con un pequeño baño al aire libre sin techar y sin fosa séptica. La escuela solo se utiliza por las mañanas ya que no cuenta con energía eléctrica además de que se utiliza como vivienda de los docentes.



Figura 3.2.11. Interior de escuela, nivel preescolar. Foto: N. Farrera

El 32.5% de la población no tiene estudios y el 53.3% está en el intervalo de 0 grados de estudio a tercero de primaria. Muchos son adultos.

La comunidad tiene 18 viviendas (Figura 3.2.12), las cuales fueron numeradas para identificarlas junto con sus habitantes. Además de las viviendas y la escuela hay dos iglesias, una católica y otra adventista, las iglesias y la escuela están en el centro del poblado en donde también se tiene un tablero de basquetbol.



Figura 3.2.12. Viviendas típicas. Fotografía: N. Farrera

La mayoría de las viviendas son de madera con techo de lámina, aunque existen también dos viviendas de adobe y una que está en construcción hecha con bloques de cemento, todas con techo de lámina.

La encuesta es de tipo exploratoria transversal (Hernández et al 2002). Primero se aplicó una encuesta a los padres de familia de cada vivienda con un instrumento construido por un equipo interdisciplinario con los siguientes perfiles: sociólogo, psicólogo e ingeniero. Aunado a ello, se realizaron cuatro entrevistas no estructuradas al comisariado ejidal y a tres ejidatarios, tres reuniones grupales de tipo participativa (Tamayo 2003) y un recorrido de observación a cada vivienda, espacios públicos, terrenos de cultivo y alrededores (Combetto et al 2000).

### **3.3 Diagnóstico de los Potenciales Energéticos Termosolares y Bioenergéticos**

La cantidad de leña, para cocinar, es de 20 piezas diarias (0.109 m<sup>3</sup>) en promedio, la leña es de quebracho, roble o pino, los trozos estándar de la comunidad tienen 0.7 m de longitud con un diámetro de 0.10 m; el fogón se prende de 6:00 a 20:00 horas. A la semana se utilizan 140 unidades que equivalen a 0.77 m<sup>3</sup>. El costo diario aproximado es de 20 pesos (1 peso por pieza). El tiempo que invierten en la recolección de leña es de 1.5 horas.

En el caso del petróleo, el 28.6% gasta entre 51 y 100 pesos al mes. Por lo que solo entre petróleo y leña el costo mensual podría ascender a 700 pesos.

Respecto a la cocción de alimentos se encontró que el 25% de las viviendas gastaron entre 100 y 500 pesos en construir su estufa, el 66% gasta más de 100

pesos en combustible para cocinar y el tiempo que se tardan en cocinar es de 1 a 3 horas.

Se les preguntó si requieren agua caliente para bañarse o para algún proceso productivo y el 60% dijo que sí. También se les preguntó si conocen los riesgos para la salud si utilizan fogón para cocinar sin una chimenea y el 66.7% dijo que sí. En este mismo sentido el 80%.



## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como se mencionó en el capítulo anterior, el trabajo de campo se llevó a cabo en la comunidad rural indígena Monte Horeb, Municipio de Cintalapa. El resultado de la intervención nos llevó a desarrollar tecnologías apropiadas que surgieron de la problemática y necesidades encontradas. A continuación se presenta el diseño, construcción de prototipos y evaluación de las tres tecnologías propuestas para la comunidad:

### **4.1 Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj**

#### **4.1.1 Prototipo de la Estufa Lekil Vaj**

Como se plantea en el capítulo tres, una de las necesidades de la comunidad es la cocción de alimentos de manera eficiente y con la capacidad de utilizar recursos locales para su funcionamiento, el resultado fue la propuesta de la estufa Lekil Vaj, la cual tiene la capacidad de utilizar leña, biogás y aserrín como fuentes de combustible (Figura 4.1.1), estas fuentes energéticas se encuentran en la comunidad y sus alrededores. La estufa utiliza materiales térmicos y aprovecha los gases de combustión para calentar agua, lo que aumenta la eficiencia del sistema.

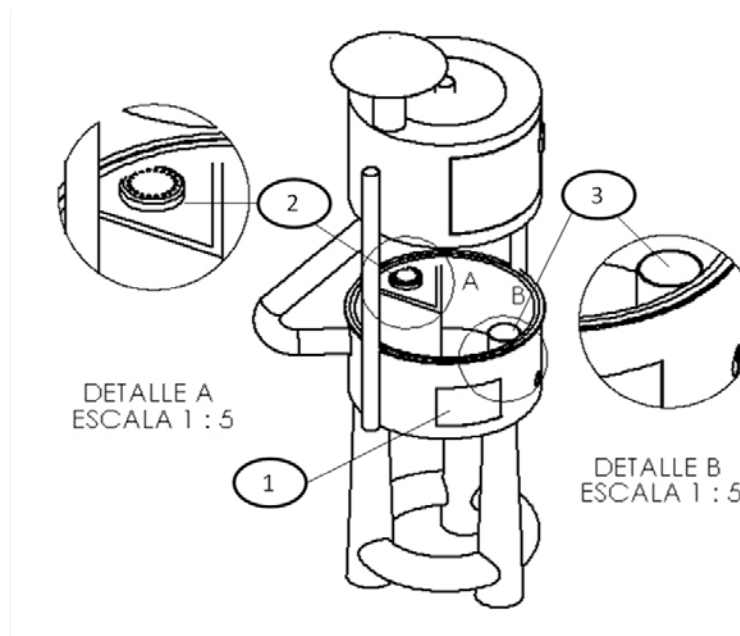


Figura 4.1.1. Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj. Cámara de Combustión: 1.Leña, 2.Biogás, 3.Aserrín. N. Farrera

Como podemos observar en la figura 4.1.2, la Lekil Vaj tiene una cámara de combustión cilíndrica donde se incluyen los tres quemadores, la cámara se sostiene con una base metálica y a un costado se conecta un tubo que dirige los gases de combustión a un calentador de agua y un ahumador de carne colocados en la parte superior. La estufa está sellada con materiales térmicos en la parte inferior y alrededor de la cámara de combustión, únicamente tiene entradas de aire para facilitar la combustión. El comal de 60 centímetros de diámetro, se colocó a 3 centímetros de los quemadores de biogás y aserrín, en el caso de la leña, la distancia depende de la cantidad suministrada. Después de que los gases de combustión pasan por el ahumador y termotanque, se desechan hacia el medio ambiente por medio de una chimenea convencional de 4 pulgadas de diámetro.

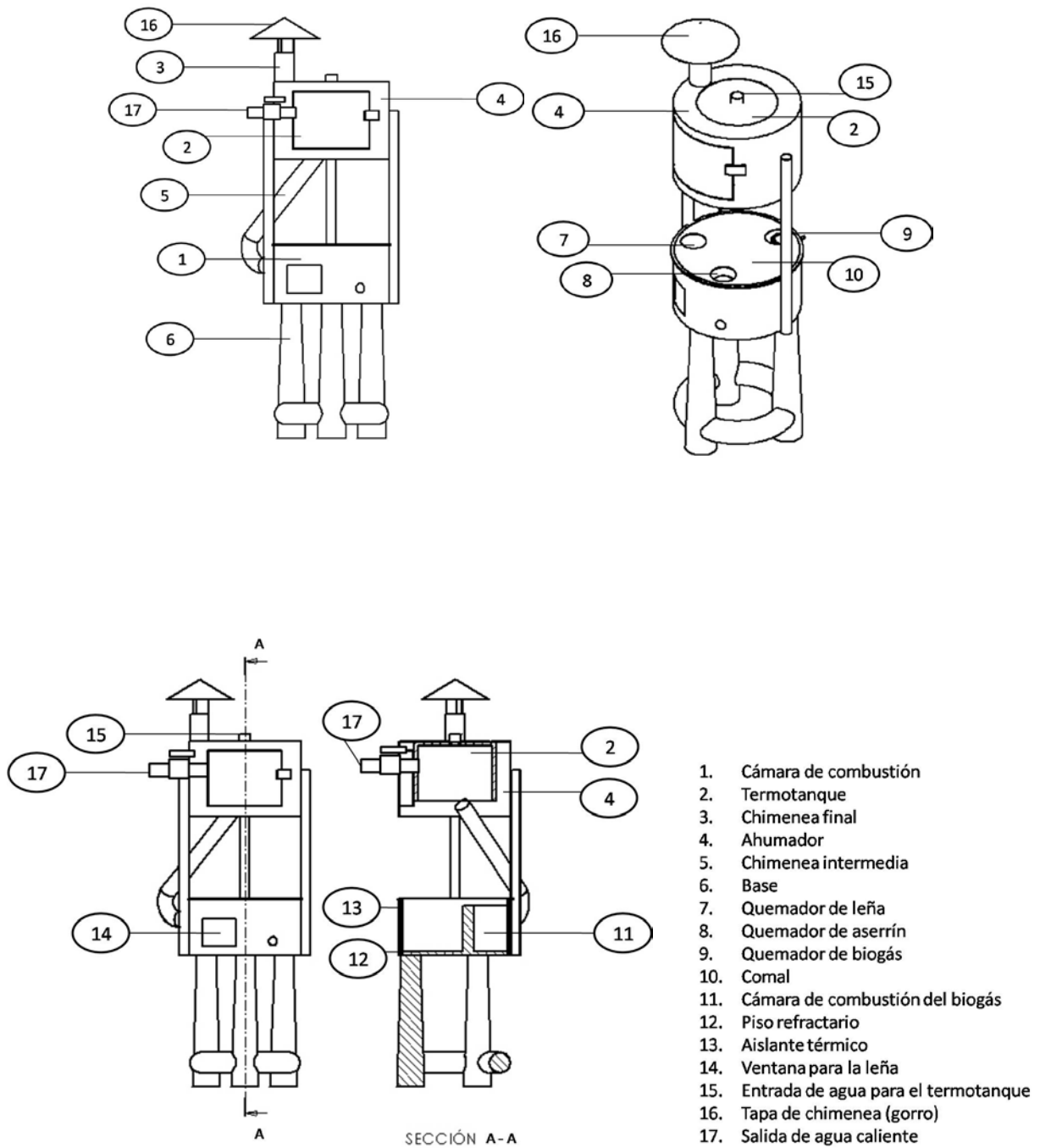


Figura 4.1.2. Componentes de la Estufa Lekil Vaj. N. Farrera

Esta versión final se construyó y valoró junto con los habitantes de la comunidad, lo que sirvió para retroalimentar y mejorar el diseño final. En la figura 4.1.3 podemos ver a los habitantes de Monte Horeb analizando y probando la estufa.



Figura 4.1.3. Pruebas de funcionamiento con miembros de la comunidad y prototipo final de la Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj. Foto: N. Farrera

#### 4.1.2 Evaluación del Prototipo de la Estufa Lekil Vaj

La evaluación de la estufa se realizó en Tuxtla Gutiérrez durante el mes de mayo del 2010. Se midió la temperatura con termopares tipo k, un multímetro marca Steren con capacidad de medición hasta de 750 °C y un termómetro infrarrojo marca Fluke modelo 572, con capacidad de medir desde -30 °C a 900 °C.

La medición tomó en cuenta los elementos principales de la estufa. Se midió la temperatura en vacío y con carga calentando un litro de agua con las tres fuentes de energía: leña, aserrín y biogás. En la figura 4.1.4 se muestran los elementos

principales y los puntos evaluados en el comal, donde se colocan los alimentos para ser cocinados.

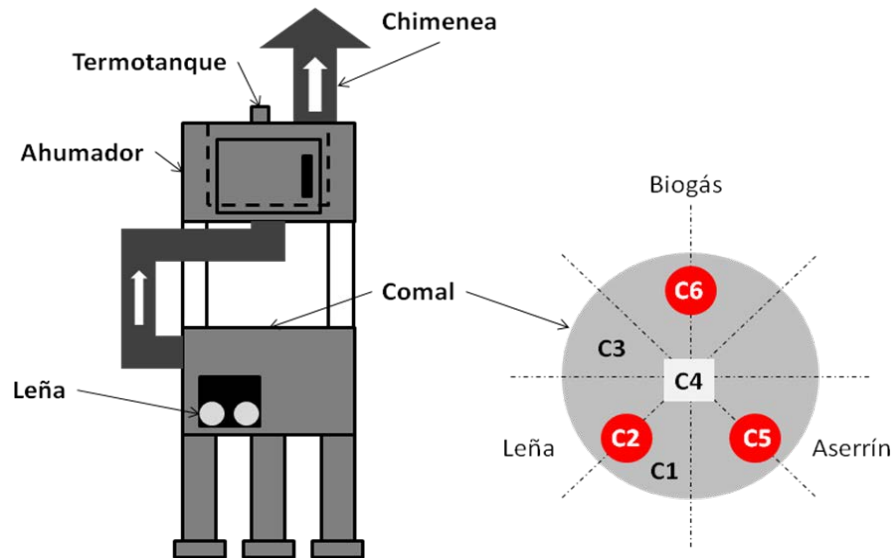


Figura 4.1.4. Esquema de Estufa Lekil Vaj y componentes. N. Farrera

#### 4.1.2.1 Evaluación en Vacío

La evaluación en vacío es una prueba en la que se mide la eficiencia de la estufa sin cocinar alimentos ni calentar líquidos directamente en el comal. En la figura 4.1.5 podemos observar los puntos evaluados tanto en el comal como en otros componentes importantes como el ahumador y el agua del termotanque.

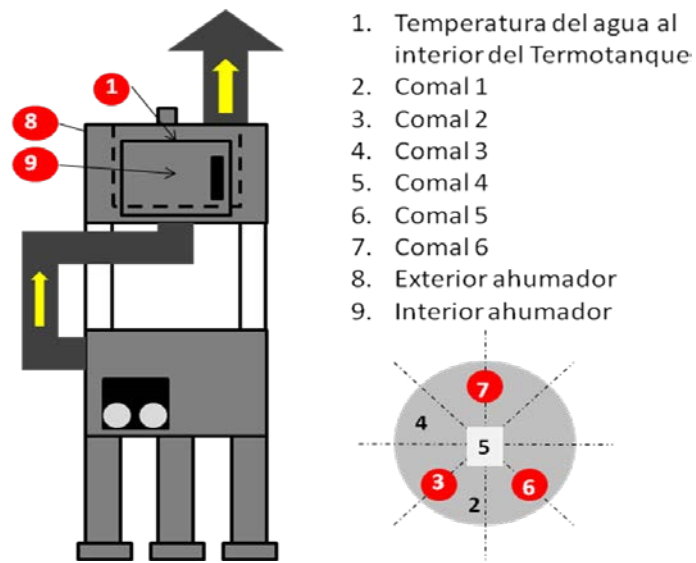


Figura 4.1.5. Puntos evaluados en el termostato, ahumador y comal. N. Farrera

Como parte de la evaluación en vacío, se midió la temperatura del agua en el termostato cada 10 minutos durante 130 minutos utilizando 2 kilogramos de leña, en la figura 4.1.6 se observa que alcanzó una temperatura de 44 °C en 130 minutos. En la Lekil Vaj, los gases de combustión pasan por la chimenea y llegan al ahumador donde se encuentra el termostato, posteriormente se desechan hacia el exterior de la habitación.

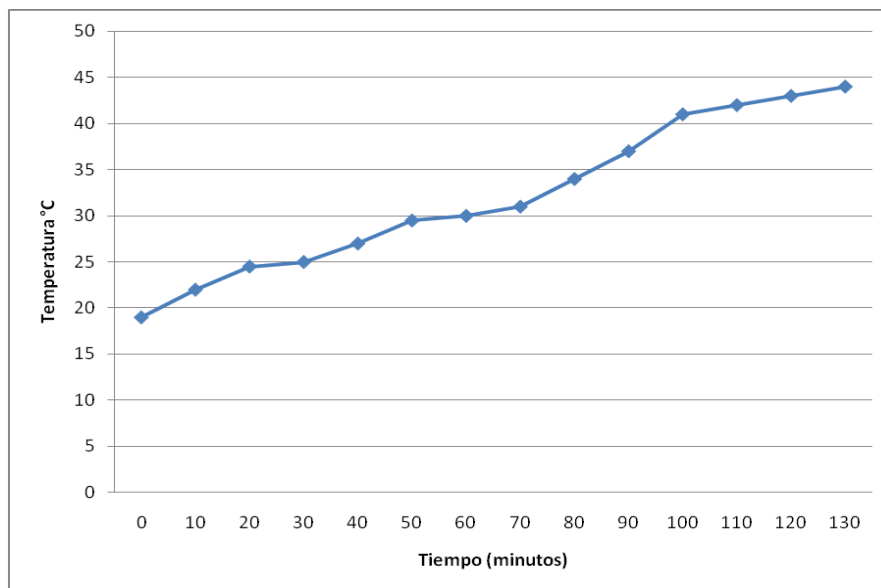


Figura 4.1.6. Temperatura del agua al interior del termotanque con Leña

Otra medición importante que tiene relación con la cocción de alimentos es comparar la temperatura en el comal con las tres fuentes de combustible, en la figura 4.1.7 podemos observar que el biogás incrementa rápidamente la temperatura del comal (en promedio) pero la leña alcanza niveles más altos después 45 minutos. En el caso del aserrín, alcanza una temperatura máxima de 100 °C a los 100 minutos, el cartucho utilizado tiene una larga duración, ya que su consumo es lento. Para la cocción de alimentos como frijoles, pollo, verduras y maíz, es necesario utilizar leña o biogás, mientras que para café, tortillas y calentar o mantener calientes los alimentos se puede utilizar también el aserrín.

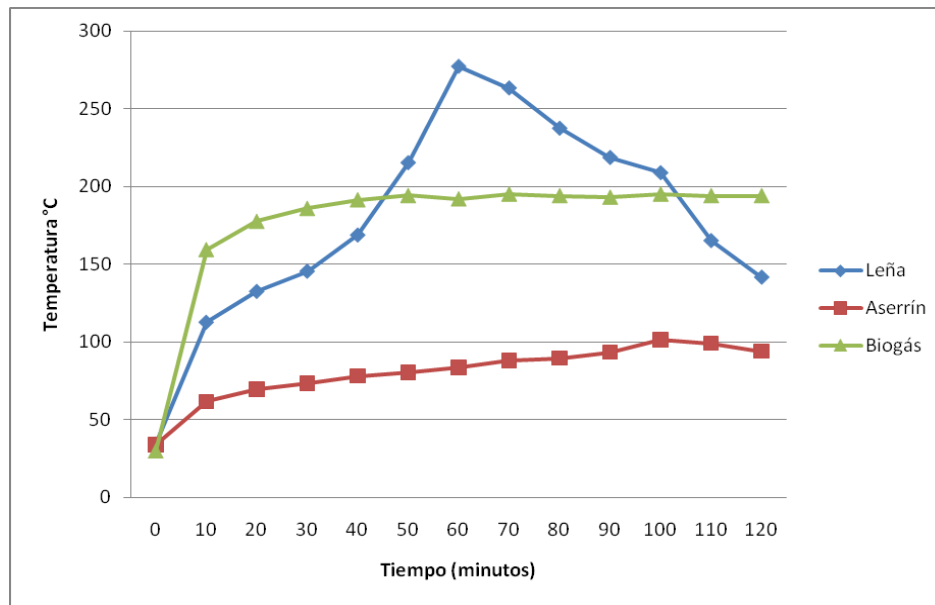


Figura 4.1.7. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura promedio en el comal

En el caso de la medición de la temperatura alcanzada por las tres fuentes de combustible (figura 4.1.8) en cada una de sus respectivas hornillas (medición puntual), el biogás alcanza una temperatura muy alta en poco tiempo (10 minutos) y se mantiene constante durante todo el tiempo que permanece la hornilla con la flama. Por otro lado, la leña es inestable, a los 30 minutos alcanzó una temperatura mayor a 200 °C y después de una hora alcanza su máxima temperatura por encima de los 300°C, posteriormente disminuye, de acuerdo al consumo de la leña. El aserrín tiene un comportamiento estable que llega a los 200 °C y se mantiene hasta que se agota el combustible.



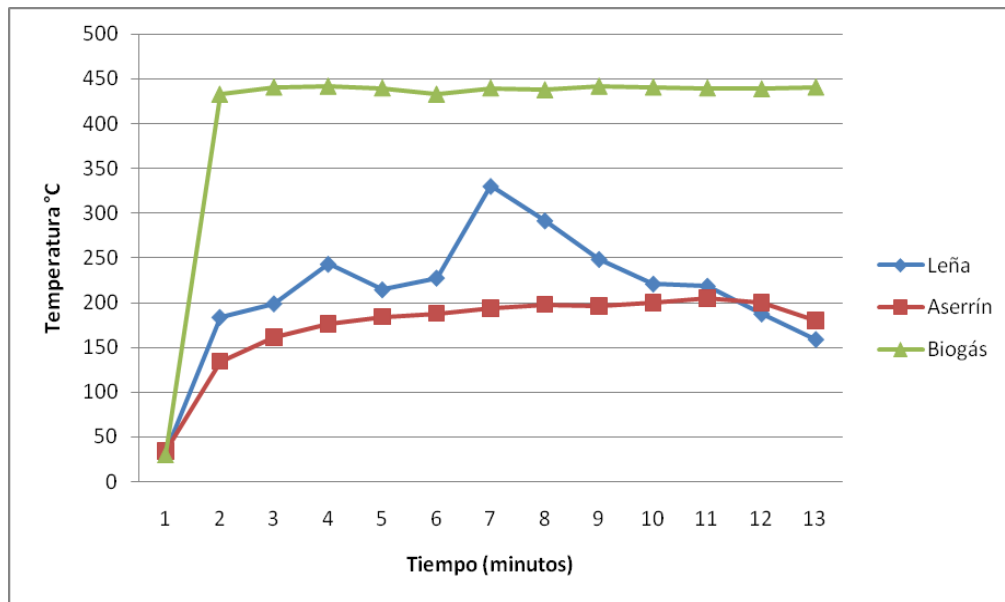


Figura 4.1.8. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura máxima en la hornilla

El comportamiento de la temperatura en el ahumador, está relacionado directamente con el uso de leña, ya que los gases producidos por este combustible, pasan de la cámara de combustión al ahumador. Podemos observar en la figura 4.1.9, que la temperatura en dicho componente aumenta de la temperatura ambiente 35 °C hasta 78°C después de una hora. Con los otros combustibles, el ahumador no tiene cambios en su temperatura.

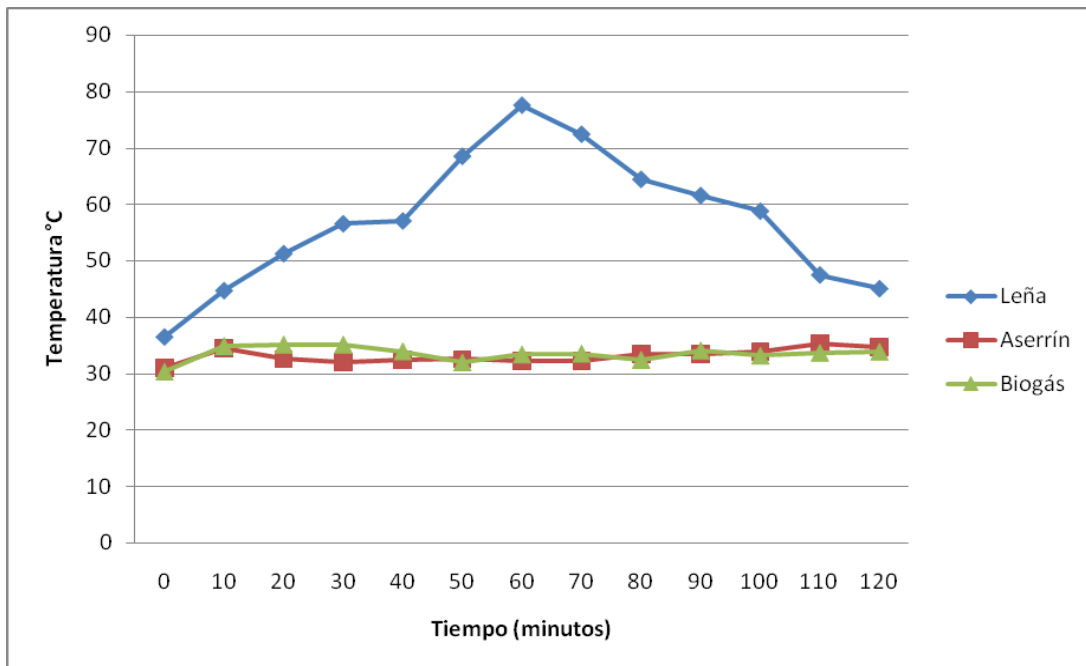


Figura 4.1.9. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura promedio en el Ahumador

#### 4.1.2.2 Evaluación con Carga

Una de las pruebas que se realizan para conocer el funcionamiento de las estufas ahorradoras de leña es hervir agua, por ejemplo, según Díaz y Berrueta, esta prueba sirvió para mejorar la estufa Lorena y proponer la estufa Patsari, encontrándose que en la primera no se podía hervir agua, por lo que se optó por construir un bafle en cada hornilla. Se probaron diferentes formas y materiales hasta que se encontró que la distancia entre el bafle y el comal debía ser de 3 cm.

En la figura 4.1.10 se observa que en la Lekil Vaj, un litro de agua hierve a los 12 minutos utilizando biogás, mientras que con leña se requirió de 14 minutos, siendo similar el comportamiento del incremento de la temperatura en el agua con estas dos

fuentes de combustible. Por otro lado, el aserrín no logró que el agua hirviera, la temperatura máxima se alcanzó a 16 minutos y fue de 78 °C.

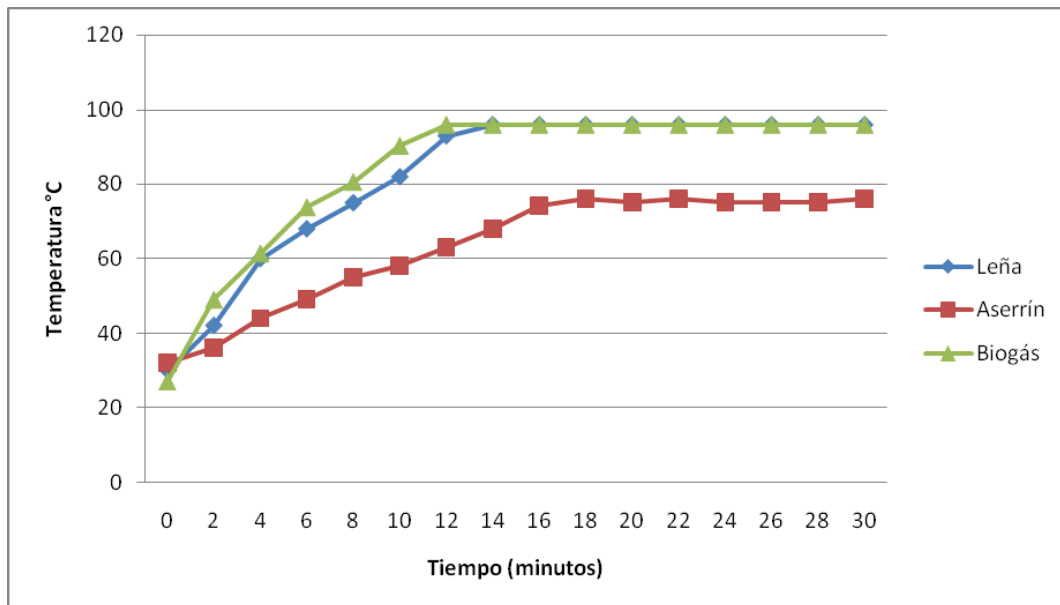


Figura 4.1.10. Comparación de las tres fuentes de combustible al calentar un litro de agua

En el caso de la estufa Lekil Vaj, aunque existen estufas ahorradoras de leña con una eficiencia similar, como la Lorena, Onil, Maya (Urban et al 2002, Berrueta et al 2007, Granderson et al 2008), no se encontró en la literatura estufas multifuncionales que contemplen tres tipos de combustible.

En la evaluación hecha a estufas ahorradoras de leña en México y la India se disminuyó el consumo de combustible percapita entre 19% y 67% por día comparándolo con el fogón tradicional (Bailis et al, 2007), mientras que la Lekil Vaj utiliza 65% menos leña en promedio, porcentaje que puede aumentar al dejar de utilizar leña, ya que tiene la opción del aserrín y el biogás. El consumo de leña de la

comunidad Monte Horeb en promedio es de 20 piezas por día (14 kilogramos), el consumo de la Lekil Vaj es de 35% que equivale a 7 piezas (4.9 kilogramos).

Al desecharse el humo de la combustión hacia el exterior disminuye la probabilidad de que los habitantes se enfermen de las vías respiratorias y de los ojos, algo que se ha probado con evaluaciones a estufas ahorradoras en varios estudios (Pennise et al 2009, Allen et al 2009). La estufa que diseñamos elimina el humo lo que contribuye a disminuir la exposición de las amas de casa a estos gases tóxicos.

Otra ventaja de la estufa es que aprovecha el calor de los gases de combustión para calentar agua, con el fenómeno de transferencia de calor por convección, por lo que, el agua caliente, se puede utilizar para bañar o para otros fines productivos. Además la estufa Lekil Vaj tiene un ahumador de carne que la conserva y le da un sabor agradable para los habitantes locales, algo que ellos solicitaron como un componente indispensable y que la mayoría de las estufas ahorradoras no tienen. Además la estufa utilizará biogás producido con desechos orgánicos humanos y animales de la comunidad lo que puede disminuir aún más el uso de leña.

La autonomía energética para cocción de alimentos y calentar agua, el impacto a la salud y alimentación, acercarán a la comunidad a su desarrollo sustentable, siempre y cuando el uso de esta tecnología permanezca, por lo que la variable principal que indica si existe sustentabilidad es el tiempo.

### 4.1.3 Prototipo de Estufa Ahorradora de Leña Lekil Vaj con Cubierta de Madera

El trabajo iniciado en esta tesis continúa con otros proyectos, en el caso de las estufas ahorradoras, con la experiencia en el proceso de desarrollo de la Lekil Vaj y utilizando algunos elementos de la misma, actualmente se está trabajando en la construcción de una estufa ahorradora de leña con características específicas para dos comunidades del Municipio de la Independencia, Chiapas. Esta se diseñó (Figura 4.1.11) en función del análisis que la misma comunidad realizó en la que determinó la prioridad de tener esta tecnología para disminuir los altos índices de enfermedades de las vías respiratorias y de los ojos que sufren como asma, enfisema pulmonar, cáncer pulmonar y conjuntivitis, entre otras. Esta ha sido valorada por los usuarios y se han dado sugerencias para realizar mejoras, lo que actualmente está en proceso de ejecución.

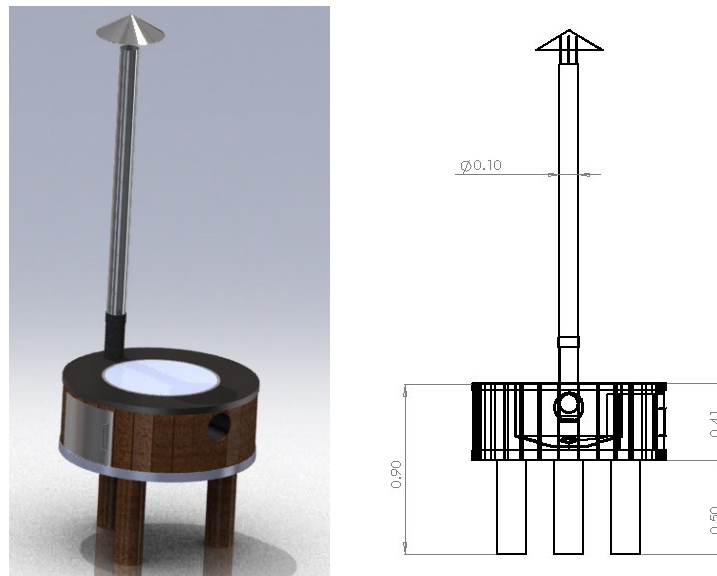


Figura 4.1.11. Modelación de la Estufa Ahorradora para dos comunidades del Municipio de la Independencia, Chiapas. N. Farrera

Después de la modelación y construcción del prototipo se invitó a los usuarios (principalmente amas de casa), miembros de las comunidades rurales Tierra Blanca y Rosario de la Montaña, ambas ubicadas en la región fronteriza de Chiapas, en el Municipio de La Independencia, a probar el funcionamiento de la estufa y las características físicas y estéticas (Figura 4.1.12), resultado de este proceso, se sugirieron algunos aditamentos que se incluirán en la versión final.



Figura 4.1.12. Prototipo de Estufa Ahorradora con miembros de las Comunidades de Tierra Blanca y Rosario de la Montaña del Municipio de La Independencia, Chiapas. Foto: J. Moreira

## 4.2 Construcción del Prototipo y Evaluación de un Secador Solar Multipropósito

### 4.2.1 Construcción del Prototipo de un Secador Solar

Se construyó un secador solar principalmente para productos agrícolas (Figura 4.2.1). Dicho aparato está hecho con un módulos (paredes y piso) prefabricados de alta durabilidad, especialmente desarrollado para uso de exteriores. Los módulos son térmicos, lo que permite que se conserve el calor al interior de la cámara de secado y al estar sellado junto con los colectores solares, en los que se provoca el efecto invernadero, es un secador solar directo. En la parte superior se colocó el colector solar con vidrios que permiten el paso de la radiación solar para provocar el efecto invernadero al interior. Los vidrios se fijan con juntas y separadores que garantizan la impermeabilización.



Figura 4.2.1. Secador Multipropósito hecho con módulos prefabricados. Foto: N. Farrera

El secador se ubica con su dimensión mayor (largo) en la dirección Oriente-Poniente. Un túnel metálico ennegrecido con pintura negro mate forma parte del secador, el cual capta la radiación solar incidente y la transfiere al aire del interior de la cámara de secado. Dentro del artefacto existen bandejas de malla metálica sobre las que se coloca la carga. Dentro del secador se efectúa el movimiento del aire forzado por un ventilador situado en el espacio comprendido entre la cubierta superior e inferior del túnel metálico. El equipo dispone de una pequeña ventana para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco en uno de los lados del equipo. El secador tiene una capacidad de  $2 \text{ m}^3$ , las medidas principales se observan en la figura 4.2.2.

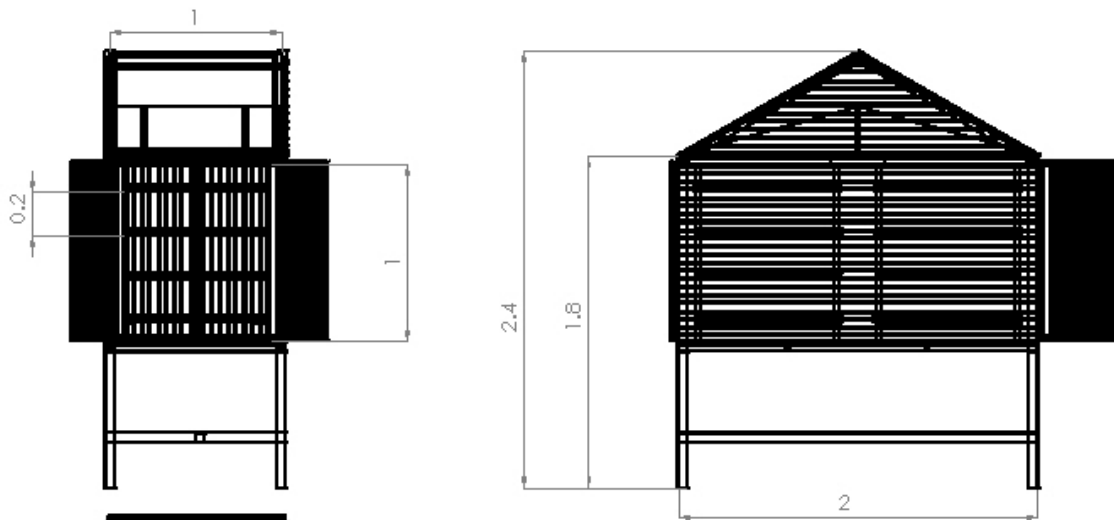


Figura 4.2.2. Dimensiones básicas del secador solar propuesto (capacidad  $2 \text{ m}^3$ ).

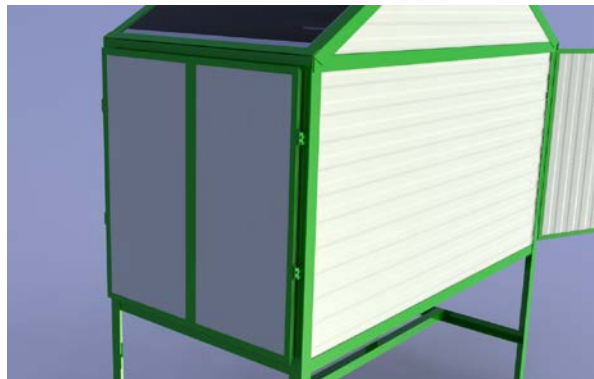
Para probar el concepto propuesto, se modeló y posteriormente se construyó un prototipo, el cual se sometió a diversas pruebas de funcionamiento. Como se observa en la figura 4.2.3, los componentes del secador son: colector solar directo para calentar el aire, un ventilador colocado bajo el colector que permite hacer fluir el



aire caliente hacia las bandejas al interior de la cámara de secado, cuatro puertas de acceso y salida de los productos agrícolas.



a)



b)

Figura 4.2.3. Modelo tridimensional del secador solar multipropósito hecho con multimuros: a) vista frontal: colectores y bandejas de secado, b) vista posterior: paredes y puertas cerradas.

Los colectores tienen una inclinación de 20 grados, dado a que es la mejor para captar mayor radiación solar en la comunidad Monte Horeb.

Los materiales principales utilizados son los siguientes:

Material	Elemento del secador	Características
Módulos prefabricados de acero con pintura resistente a exteriores y poliuretano	Paredes y piso del secador	5 cm de espesor y conductividad de 0.21 W/m°C
Tubular de fierro cintro alum (con recubrimiento antioxidante)	Estructura del secador y base	Perfil cuadrado de 1" X 1" y conductividad de 32.1 W/m°C
Vidrio	Colector en el techo del secador	Conductividad 0.6 – 1.0 W/m °C y 6 mm de espesor
Tubular de fierro cintro alum (con recubrimiento antioxidante)	Estructura para bandejas para el interior de la cámara de secado	Perfil cuadrado de $\frac{3}{4}$ " X $\frac{3}{4}$ " y conductividad de 32.1 W/m°C

## 4.2.2 Evaluación del Prototipo de Secador Solar

### 4.2.1.1 Evaluación en Vacío

El secador solar requiere como fuente de energía la radiación solar, por lo mismo se midió en un día de alta incidencia en la tecnología propuesta, para esto se colocó un medidor de radiación solar utilizando una celda fotovoltaica calibrada en el colector y se realizó la lectura cada hora durante de 10:00 a 18:00 horas. Como podemos observar en la figura 4.2.4, durante el día, la radiación se va incrementando de 248

$W/m^2$  a las 10:00 hrs hasta alcanzar su máximo entre 12:00 y 14:00 horas cuando llega a  $925 W/m^2$ . En este caso la gráfica muestra un día soleado con las mejores condiciones de radiación, que en términos de operación del sistema facilita el secado.

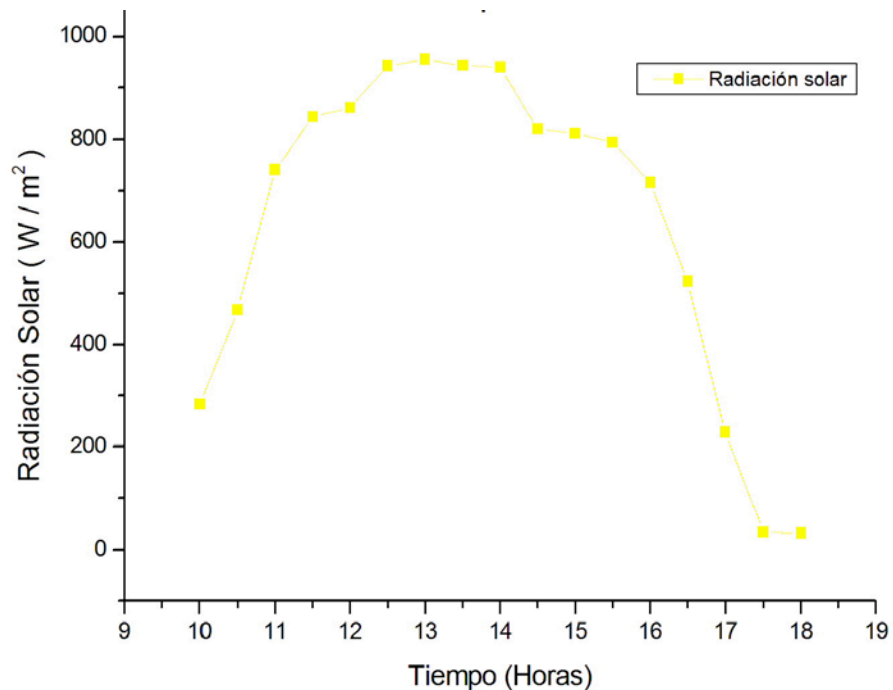


Figura 4.2.4. Radiación solar en un día típico de alta incidencia

Otra evaluación realizada fue el comportamiento térmico sin carga, la variable medida fue la temperatura en tres elementos del secador y en el medio ambiente. Como podemos ver en la figura 4.2.5, a las 10:00 hrs., la temperatura en el ambiente era de  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en la parte inferior de la cámara de secado de  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en la parte superior de la cámara de secado es de  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en la chapa metálica (placa metálica)  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente a las 12:00 hrs., la temperatura ambiente llegó a  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en la

cámara de secado, la temperatura en la parte inferior de la cámara de secado llegó a 64 °C y en la parte superior a 67 °C, y en la placa metálica a 73° C. En la cámara de secado la temperatura alcanza los (inferior: 69 °C – superior: 73 °C) a las 12:30 hrs. y permanece, con pequeñas variaciones, en ese rango de temperatura hasta las 13:00 hrs., cuando empieza a disminuir. Al comparar la gráfica de la radiación (Figura 4.2.4) con la de la temperatura al interior de la cámara de secado (figura 4.2.5), podemos observar la relación que existe entre las dos variables. Es importante mencionar, que aún con la temperatura ambiente por debajo de los 30 °C, la radiación directa (en días sin nubosidad) hace que en el colector solar y en la cámara de secado, la temperatura llegue a máximo nivel.

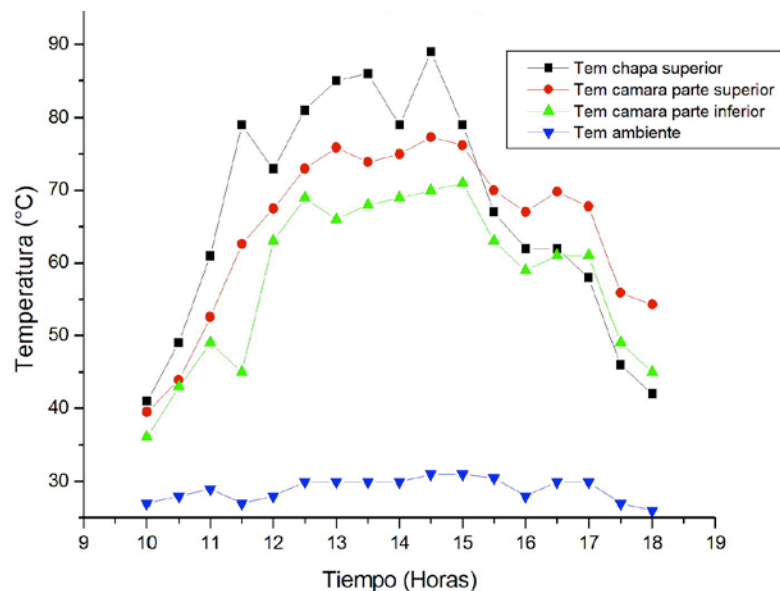


Figura 4.2.5. Temperatura en diferentes partes del secador solar multipropósito

Chiapas es un estado con clima tropical, el municipio de Cintalapa se encuentra en la meseta central del estado, tiene un clima cálido húmedo, por lo mismo, el secado es

un proceso que se complica, dado que la humedad del medio ambiente no siempre permite una fácil extracción de la humedad del producto a secar. Por lo mismo, una evaluación importante es la comparación de la humedad relativa ambiental con la humedad relativa en la cámara como se muestra en la figura 4.2.6. En las mediciones realizadas en un día típico de alta incidencia de radiación solar y alta humedad relativa en el ambiente, el porcentaje de humedad en el ambiente a las 7:00 hrs. era de 90% mientras que en la cámara de secado de 85%. A las 10:30 hrs. la humedad en ambiental continuaba siendo la misma, mientras que en la cámara de secado bajó a 70%. A las 12 hrs. la humedad relativa ambiental llegó a 75%, mientras que en la cámara de secado llegó a 30%. A las 13:30 hrs. la cámara de secado llegó a su punto más bajo de humedad relativa: 20%, estabilizándose hasta las 17:00 hrs., horario en el que la radiación solar disminuye.

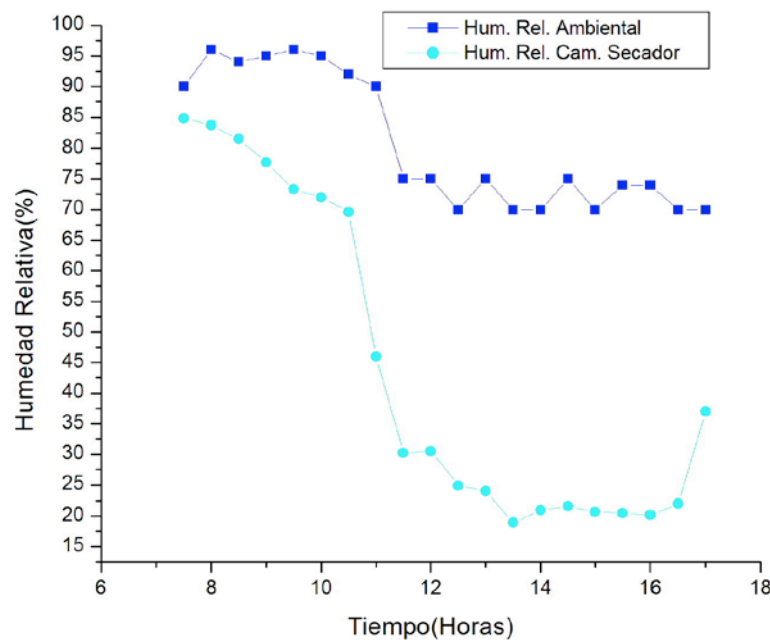


Figura 4.2.6. Humedad Relativa en el Ambiente y en la Cámara de Secado

Para evaluar el funcionamiento del secador solar, se realizó una segunda evaluación en vacío en un día sin nubosidad pero menor incidencia de radiación solar que la evaluación presentada en la figura 4.2.4. en la que la radiación superó los  $900 \text{ W/m}^2$ , en esta ocasión, la radiación máxima llegó a  $790 \text{ W/m}^2$ . Podemos observar en la figura 4.2.7 que a las 8:00 hrs. la temperatura ambiente era de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  mientras que en la cámara de secado de  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  con una radiación de  $200 \text{ W/m}^2$ . A las 12:30 la temperatura en la cámara de secado alcanza su máxima temperatura de  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , manteniéndose así hasta las 13:30 hrs, a partir de este horario, la temperatura en la cámara empieza a disminuir así como la radiación solar. Si comparamos, esta evaluación con la anterior (Figura 4.2.4, 4.2.5 - Figura 4.2.7), vemos la relación de ambas de la radiación solar con la temperatura en la cámara de secado, a mayor radiación, mayor temperatura en la cámara de secado.

Se realizó otra evaluación sin carga, en un día de baja radiación solar, para conocer el comportamiento del secador en esta situación, como se observa en la figura 4.2.8. En la gráfica se puede observar que la radiación máxima ajustada fue de  $440 \text{ W/m}^2$  y la temperatura máxima ajustada llegó a los  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , esto principalmente por la nubosidad, lo que solamente provee de radiación difusa al secador. Aún con estas características, el secador puede cumplir con su objetivo, aunque con menor capacidad.

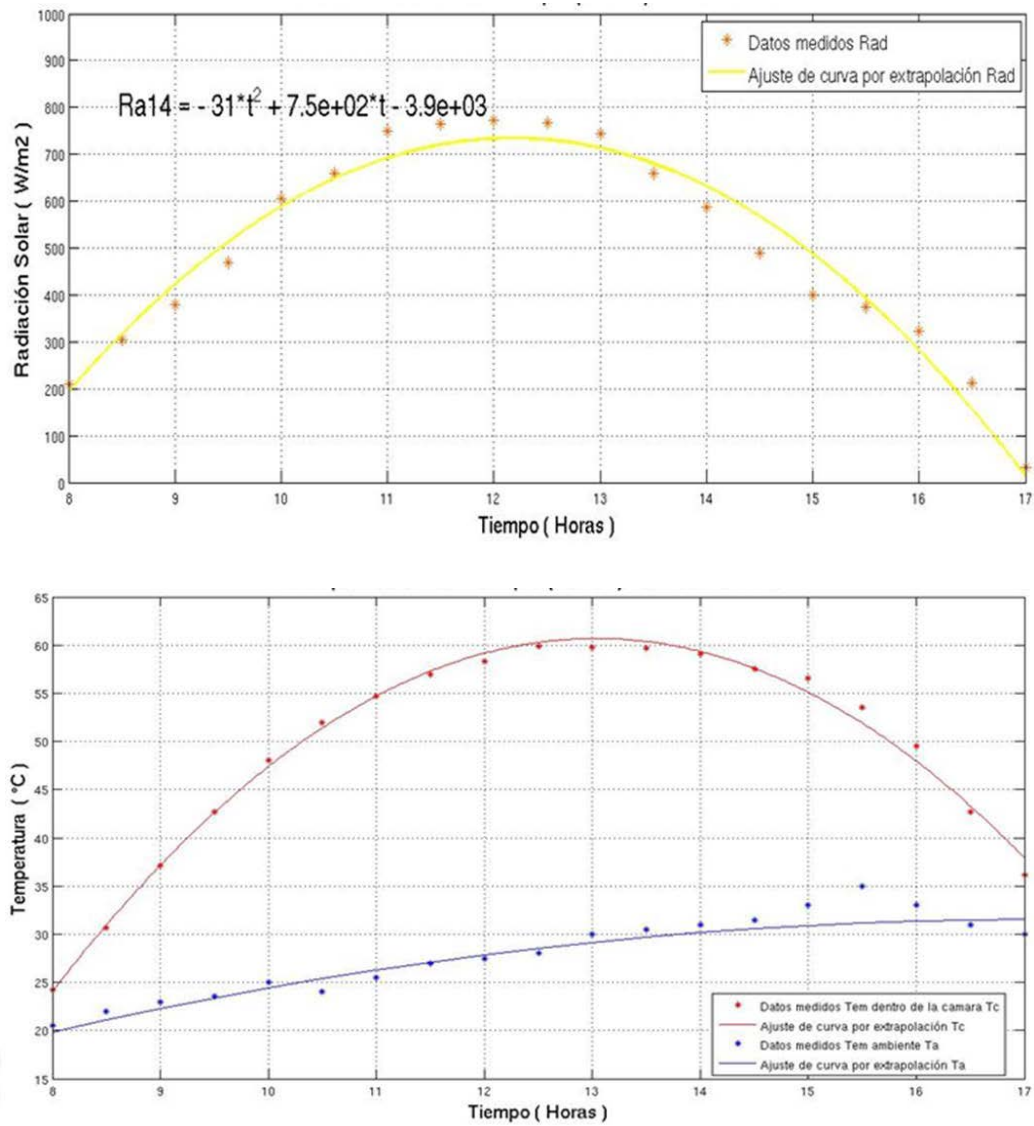


Figura 4.2.7. Evaluación del Secador solar en un día de Alta Radiación: Temperatura Ambiente y Temperatura dentro de la Cámara de Secado.

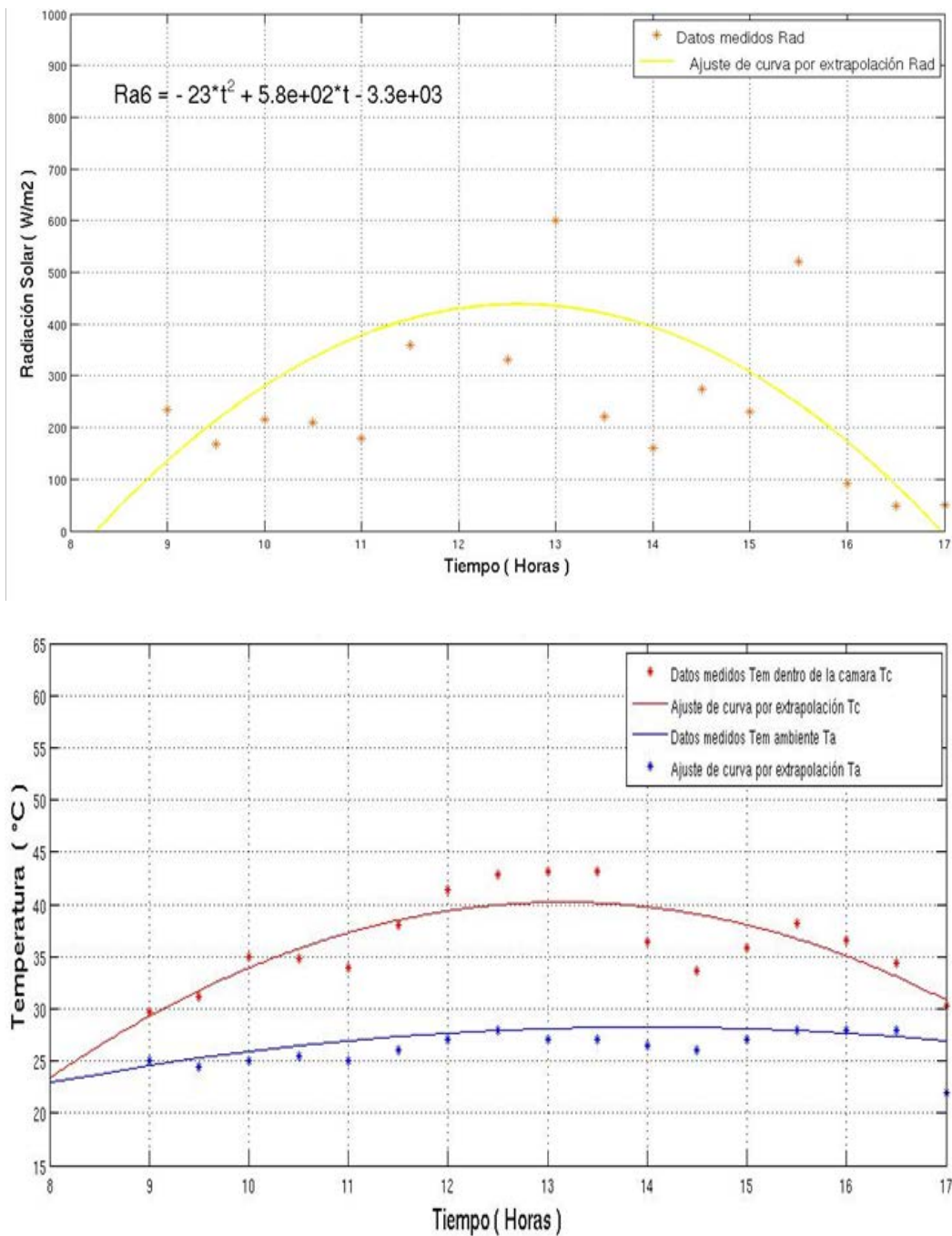


Figura 4.2.8. Evaluación del Secador Solar en un día de Baja Radiación solar (arriba) se observa el comportamiento de la temperatura ambiente - temperatura en la cámara de secado.



En todas las evaluaciones realizadas se observa que el funcionamiento del secador solar podrá mejorar los procesos de secado de productos agrícolas en todas las épocas, tanto en días de alta radiación, como en días nublados.

#### **4.2.1.2 Evaluación con Carga**

Otra evaluación importante es la relativa al propósito principal de un secador: eliminar la humedad del producto a secar, en este caso se evaluó un producto que se está impulsando como opción para producir biodiesel, es el caso de la semilla de *Jatropha Curcas*. Este producto puede servir para dar autonomía energética a comunidades rurales al producir combustible para vehículos de carga y tractores, aunque no se recomienda que se produzca en terrenos de cultivo dedicados al maíz, frijol y hortalizas, si se puede producir a pequeña escala en las cercas de los terrenos (como tradicionalmente se hace) y terrenos no apropiados para los cultivos alimenticios, ya que se da de manera natural en la región de Cintalapa.

En la figura 4.2.9, podemos ver que inicialmente la humedad relativa del piñón a las 7:00 hrs. era de 34%, la disminución de la humedad con una pendiente negativa llegó a 14% a las 13:00 hrs. y a las 18:00 hrs llegó a 6%, lo que es suficiente para el siguiente proceso. Para obtener el aceite para el biodiesel, la semilla debe tener de 5% a 7% de humedad relativa, según SAGARPA 2011.

En la comparación con el secado tradicional a intemperie extendida, en varias pruebas realizadas anteriormente, el piñón (*Jatropha Curcas*) tarda en promedio cinco días en secarse a 6% de humedad relativa, mientras que con el secador propuesto llega al mismo porcentaje en un día.

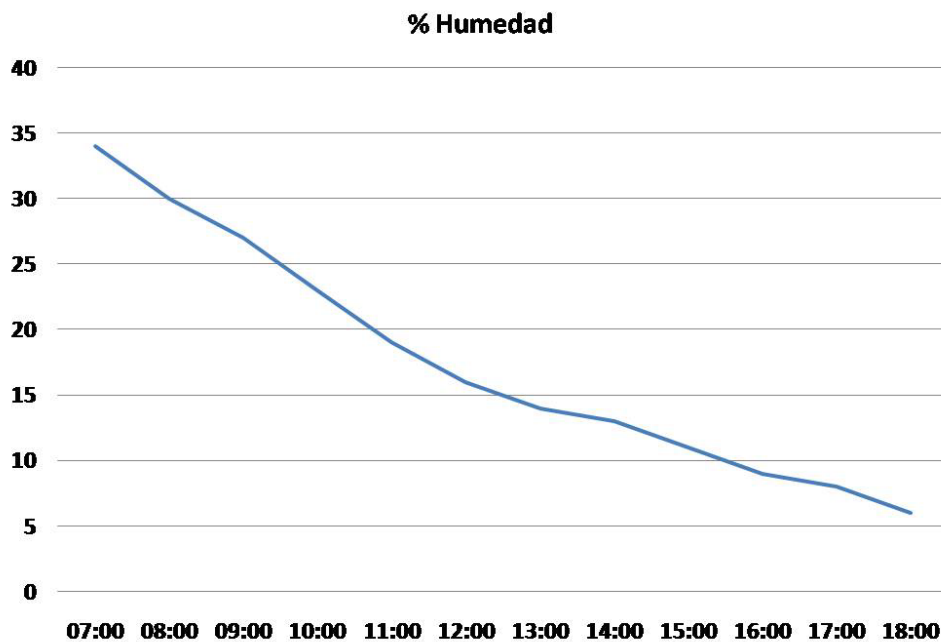


Figura 4.2.9. Evaluación con carga del Secador Solar Multipropósito (% de Humedad Relativa)

Para conocer el funcionamiento del secador en un periodo prolongado, se realizó una segunda evaluación con carga en la cual se utilizó un producto con alto contenido de humedad. La evaluación se realizó con quesos típicos de la región de Cintalapa.

En un periodo de secado de 22 días se puede observar en la figura 4.2.10. El comportamiento del secado de 7 muestras de queso de diferentes masas (en gramos). La muestra de menor masa (50 gramos) disminuyó 50% a partir de los 10

días de secado. En el caso de la muestra de mayor masa (340 gramos) la reducción fue de 190 gramos (55.8%). El secado de los quesos, que normalmente dura un mínimo de 3 meses, en este caso, utilizando el secador solar multipropósito, se logra a los 10 días, a partir de los cuales se estabiliza la masa de las muestras.

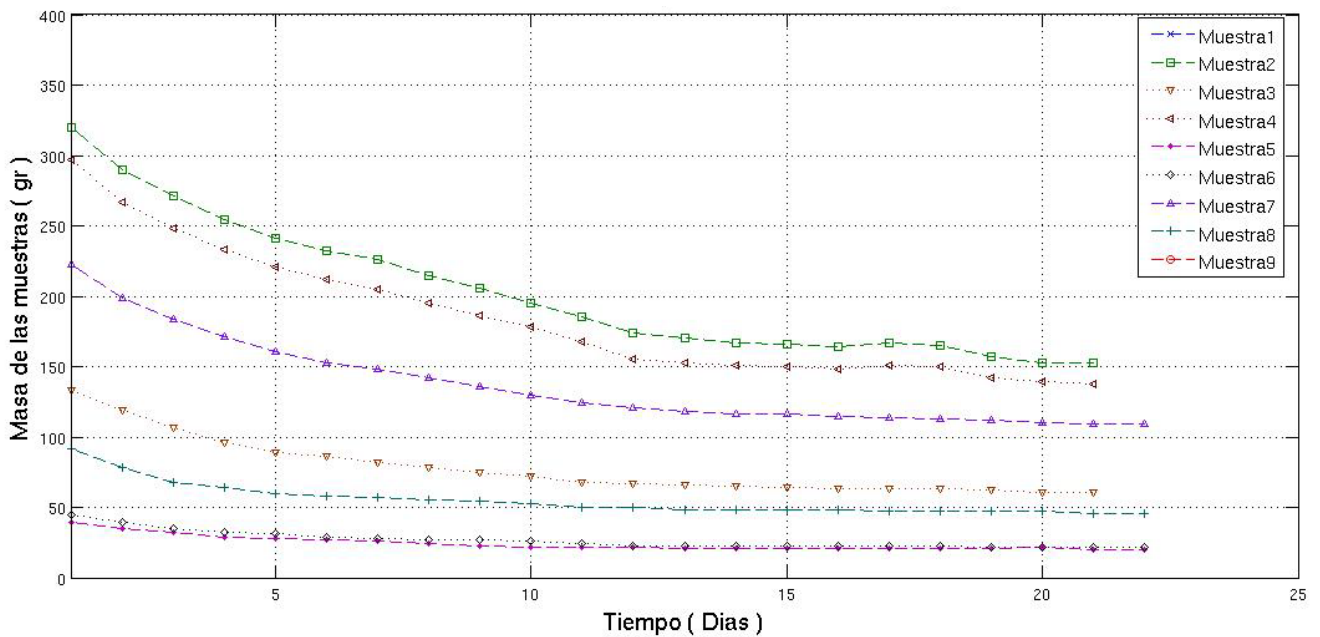


Figura 4.2.10. Secado de Queso Fresco de nueve muestras durante 22 días de evaluación.

### 4.3 Diseño y Construcción de un Biodigestor Rígido

#### 4.3.1 Construcción del Prototipo de Biodigestor Rígido

A continuación se presenta un biodigestor propuesto para la comunidad Monte Horeb, este tiene características de durabilidad y eficiencia para los requerimientos de uso analizados en la comunidad (al igual que las tecnologías anteriores).

Para llegar a la definición final se modelaron virtualmente y construyeron prototipos los cuales fueron probados (Moreira et al). El que se presenta en este trabajo de tesis es de tipo rígido, utiliza un depósito tipo tinaco de 1100 litros sin los orificios que tienen los que se utilizan como tanque de agua. A este depósito se le agregaron componentes como la instalación de tubos de PVC de 4 pulgadas, tanto de entrada de materia orgánica como de salida de bioabono y por otro lado en la parte superior se instaló la tubería de salida de los gases productos del proceso anaerobio.

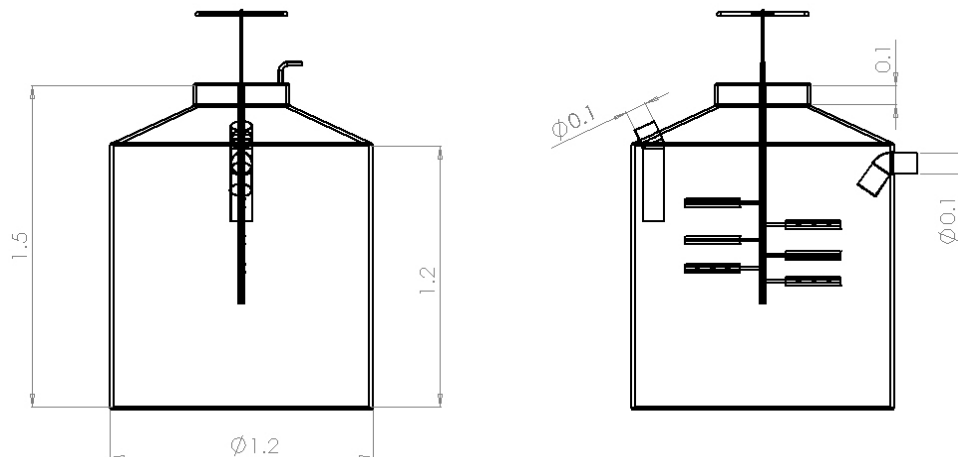


Figura 4.3.1. Dimensiones del Biodigestor Rígido propuesto y prototipo en construcción.

También se instaló un removedor de materia orgánica que sirve para homogenizar la carga lo que facilita la producción de biogás. En la figura 4.3.1 podemos ver el modelo virtual con sus dimensiones y componentes principales y una fotografía la construcción del prototipo.

Para entender las diferencias y ventajas del prototipo desarrollado, a continuación se presenta la comparación general de esta tecnología, con una de uso común, tipo Tailandés:

<b>Biodigestores Flexibles Tipo Tailandés</b>	<b>Biodigestor de Plástico Rígido DM (propuesto)</b>
Tiene una duración de 2 años	Tiene una duración de 20 años
Es sensible a la radiación ultravioleta, lo que disminuye su vida útil	Resiste la radiación ultravioleta
Los materiales se pueden perforar fácilmente	El material es resistente y no se perfora fácilmente
Se puede dañar con el medio como por ejemplo los animales, inundaciones, tierra, etc.	Resiste condiciones ambientales adversas (no se hunde ni se inunda)
Problema en la interfaz por la diferencia de temperatura y presión	No tiene problemas de interfaz ya que el material resiste las diferencias de presión y temperatura
Costo entre \$1500 y \$2000	Costo entre \$2500 y \$3000
Dificultad en la homogenización de la materia orgánica y de la temperatura	Tiene un sistema de homogenización que permite mejorar la eficiencia del biodigestor
Traslado complicado ya que no se debe doblar porque se daña	Traslado no complicado ya que el material es resistente, inclusive puede flotar o rodar
Instalación complicada de conexiones de extracción de gas (la tubería se hunde, las superficies son flexibles)	Fácil instalación de tuberías y de mayor duración
Tiene poca eficiencia para absorber la radiación térmica lo que la hace menos eficiente	Absorbe la radiación térmica (color negro), lo que le da mayor eficiencia
El aspecto no es agradable, sobre todo después de un tiempo de instalado	El aspecto permanece siempre igual ya que el material no se dobla ni se hunde

Figura 4.3.2. Comparación del biodigestor rígido propuesto con el biodigestor tipo tailandés.

Como podemos observar en la figura 4.3.2, aunque las tecnologías tradicionales funcionan correctamente y tienen una eficiencia aceptable, en el caso del biodigestor propuesto, en la mayoría de los aspectos supera a su homólogo, inclusive en el aspecto financiero, y aunque el costo inicial es mayor, la durabilidad supera por mucho al tradicional, lo que en una comparación costo-tiempo de vida o costo beneficio, también en este aspecto supera al biodigestor flexible.

El prototipo se llevó a la comunidad y se instaló, esto se hizo con fines demostrativos, como parte del proceso de apropiación tecnológica. En la figura 4.3.3 podemos ver el biodigestor instalado cerca de la escuela que posteriormente se conectó al baño de la misma.



Figura 4.3.3. Prototipo demostrativo instalado en Monte Horeb. Foto: N. Farrera

### 4.3.2 Evaluación del Prototipo de Biodigestor Rígido

En la figura 4.3.4 podemos observar la producción de biogás durante dos meses. La generación de biogás inició el día 15 con 8 litros, llegando a su máximo el día 27 con 104 litros. La producción disminuyó a 12 litros el día 32 en el que se agregó 20 litros de estiércol. El día 36 llegó a la producción de 8 litros, la más baja del proceso (después de la primera producción). A partir del día 38 la producción empezó a incrementarse a 15 litros hasta llegar a 90 litros el día 44. El ciclo volvió a realizarse efectuándose una tercera carga de 20 litros el día 47, con lo que se logró incrementar el biogás a una producción de 81 litros el día 58. En general, la producción puede lograrse de manera cíclica, con las recargas hechas cada que la cantidad de biogás producido disminuye a niveles de 10 litros. Hace falta hacer recargas en cuanto la producción empieza a disminuir con el fin de mantener constante la cantidad de abastecimiento de biogás, esto siempre y cuando el consumo sea constante.

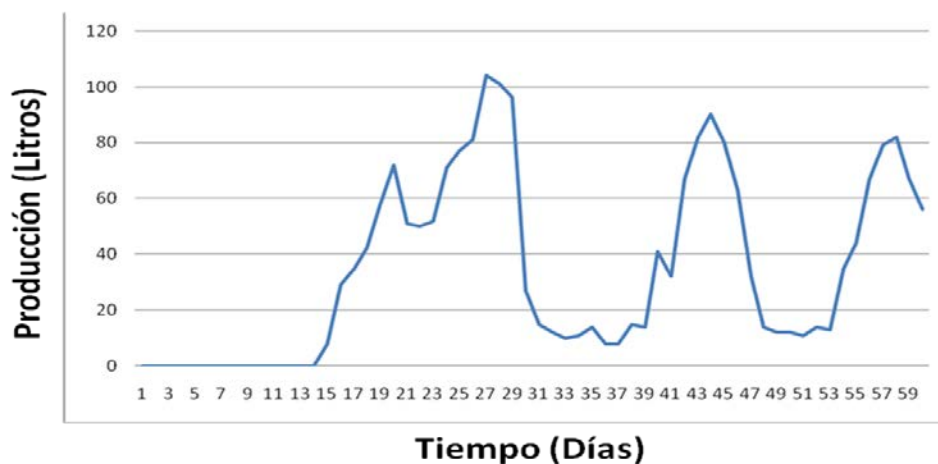


Figura 4.3.4. Producción de Biogás en litros en 60 días de evaluación.

En la figura 4.3.5 podemos observar la producción de biogás comparada con las otras variables medidas: ph, temperatura ambiente y temperatura al interior del biodigestor. Algo interesante de señalar, es que dichas variables se mantienen con pequeños cambios, pero en general son constantes.

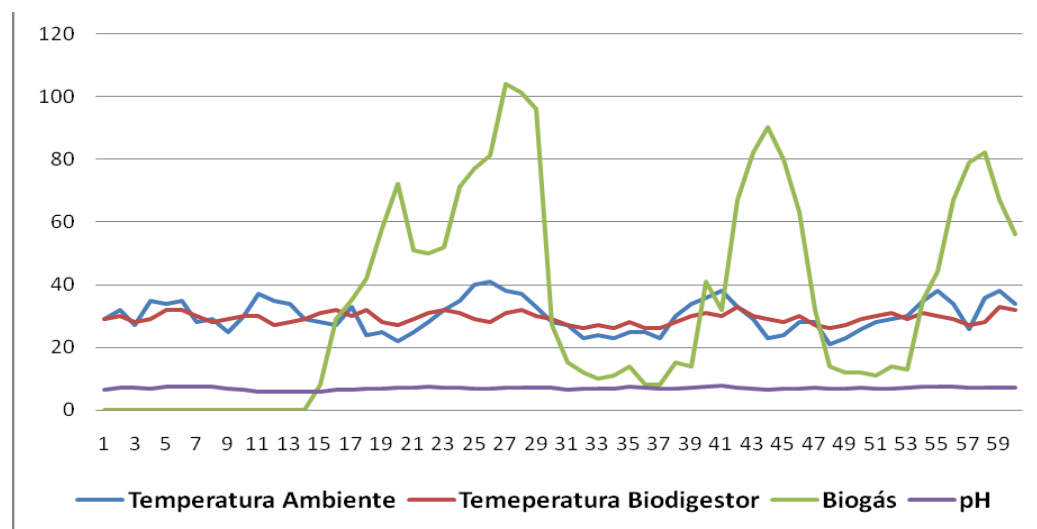


Figura 4.2.5. Evaluación de Temperatura Ambiente (°C), Temperatura al interior del Biodigestor (°C), Producción de Biogás (litros) y pH durante 60 días de evaluación

Según estudios realizados en Chiapas (Hernández y Velasco 2010, Moreira et al 2010) la cantidad de biogás necesario para mantener funcionando una estufa durante 4 horas con una hornilla comercial es de 884 litros. La producción total del biodigestor en 60 días fue de 2054 litros, lo que equivale a más de 9 horas de combustión de biogás.



## CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas bioenergéticos y termosolares desarrollados y evaluados demuestran que es posible hacer propuestas de tecnologías locales, con altos parámetros de calidad, durabilidad y accesibles económicamente, partiendo de las necesidades energéticas de las comunidades rurales y la disponibilidad del recurso bioenergético y termosolar. Las tecnologías son apropiadas dado que en todo el desarrollo participaron los habitantes de la comunidad, desde la identificación y priorización de las necesidades, hasta las evaluaciones y demostraciones finales.

Las contribuciones específicas obtenidas durante el desarrollo de este proyecto se muestran a continuación:

1. Se obtuvo un diagnóstico completo de las necesidades prioritarias de los habitantes de la comunidad, así como de los potenciales energéticos termosolares y bioenergéticos de la misma, los cuales se pueden resumir en:
  - El 100% de de las viviendas utilizan fogones tradicionales o de tres piedras, los cuales emplean 14 kilogramos de leña al día, lo que manifiesta su alta ineficiencia, la emisión de gases y partículas que dañan la salud humana, así como su incidencia en la deforestación local y la falta de equidad de género por ser las mujeres las encargadas de acarrear este biocombustible.
  - Las viviendas presentan desechos orgánicos producto de la actividad agrícola, animales de traspatio, así como las heces fecales animales y

humanas, éstas últimas provocan además un impacto negativo por contaminación del manto freático.

- No existe un método de secado adecuado para la conservación de los productos agrícolas.
- En general la comunidad presenta alto índice de marginación, ya que no cuenta con servicios básicos de salud, educación e infraestructura.

2. Se diseñaron tecnologías termosolares y bioenergéticas de acuerdo a las necesidades identificadas y a los potenciales energéticos disponibles en la comunidad de Monte Horeb.

3. Se construyeron tres tecnologías adecuadas de acuerdo a las especificaciones de diseño: un prototipo de biodigestor, uno de estufa multifuncional ahorradora y otro de secador solar multipropósito.

4. Las evaluaciones técnicas para los tres prototipos desarrollados muestran:

- La estufa multifuncional ahorradora alcanza temperaturas desde 100 °C hasta 270 °C en función del tipo de biocombustible. Temperatura suficiente para cocer los alimentos básicos utilizados en dicha comunidad. Permitiendo que los productos tengan un tiempo de cocción similar al fuego directo. Todo esto, con un ahorro de 65% sin la emisión de elementos contaminantes dentro de la habitación, como gases de combustión y partículas solidas suspendidas. Además, la

estufa integra elementos adicionales como un ahumador y un calentador de agua que eleva su temperatura a 44 °C conservándose durante 8 horas, que es suficiente para la higiene de los miembros de la familia en época de invierno.

- El biodigestor mostró un buen desempeño con una producción estable de biogás por cantidad de materia orgánica suministrada. Obteniéndose 2054 litros durante los dos meses de evaluación.
- El secador solar tiene un adecuado desempeño, ajustado a los parámetros de secado, las temperaturas obtenidas en la cámara alcanzan los 70 °C en la cámara de secado, suficiente para secar piñón en un día y queso en 10 días.

Este proceso de investigación y desarrollo tecnológico puede servir de referencia para futuros trabajos académicos en ésta línea de generación y aplicación del conocimiento. En tal sentido agradezco a aquellos que lo tengan en sus manos y recomiendo realizar la gestión necesaria para la implementación masiva de estas tres tecnologías en el Estado de Chiapas.

## ANEXOS

### **ANEXO 1. Principios Generales para el Desarrollo e Implementación de Tecnologías Apropriadas**

Las tecnologías apropiadas, también llamadas, alternativas, limpias, ambientales, suaves o ecotecnologías, se han planteado como una parte de la solución a la crisis ambiental y para contribuir al desarrollo sustentable de las comunidades rurales; una de las primeras propuestas y de mayor reconocimiento fue hecha en la década de los setenta por Schumacher. E.F en su libro *Small is Beautiful* (1974). Aquí se menciona que estas tecnologías son una opción diferente al sistema tecnológico dominante, toman en cuenta lo local, son económicas, no dañan el ambiente, entre otras características.

Por lo tanto, las Tecnologías alternativas, al reaccionar contra el sistema tecnológico dominante, tratarían de lograr los siguientes objetivos (Harper 1973):

- a) Descentralización tecnológica y autosuficiencia local y regional.
- b) Procesos simples que exigen una especialización mínima.
- c) Procesos demandando una gran cantidad de trabajo, con una inversión mínima.
- d) Tecnologías concebidas para la producción en pequeña escala.
- e) Tecnologías que tenderán a la conservación de los recursos no renovables.
- f) Técnicas no contaminantes y ecológicamente sanas

g) Técnicas que estimulan el trabajo creativo y controlado directamente por los productores y los consumidores.

Según (Baquedano 1979) las tecnologías apropiadas son Tecnologías concebidas para satisfacer las necesidades esenciales de los sectores populares de una región o país. Al situarse en la perspectiva de satisfacción de las necesidades esenciales de los sectores populares, los aspectos y métodos comerciales de la creación tecnológica deben ser reemplazados por otros métodos y conceptos que facilitan el acceso que cada grupo social tiene a los bienes y servicios.

En la práctica, estas tecnologías han sido desarrolladas en diferentes partes del mundo, actualmente con un énfasis en las energías renovables, por la situación de crisis ambiental que estamos viviendo. En países como Etiopía (Mulugetta 2007) se ha hecho un estudio sobre las energías renovables y como implementarlas en las comunidades rurales, en México, particularmente en Chiapas se ha hecho una investigación en una comunidad rural que desarrollo tecnologías apropiadas (Aceves 2000), en este trabajo los resultados fueron implementar una metodología y la obtención de tres tecnologías: una letrina, un tanque de captación y almacenamiento de agua y un fogón mejorado para preparar alimentos.

Algo importante de retomar del trabajo realizado por Aceves F. (2000) es la definición de características de las Tecnologías Ambientales Socialmente Apropriadas (TASA) que a continuación se presentan:

Las tecnologías diseñadas deben:

- Ser aceptadas por la población local
- Utilizarse efectivamente
- Ayudar al bienestar de los más necesitados
- Ser de bajo costo y eficaz
- Aprovechar al máximo los recursos, tradiciones y habilidades locales
- Tomar en cuenta los factores locales como la geografía, el clima y las tradiciones que podrían afectar su utilidad
- Mantener un equilibrio natural con el ambiente
- Ser fáciles de entender, comprar y componer por la gente local
- Incluir a la gente local en su planificación, selección, diseño o adaptación
- Proporcionar empleos
- Aumentar la confianza de la gente para encontrar sus propias soluciones y tomar sus propias decisiones

Estas características son esenciales en el diseño y construcción de tecnologías que puedan contribuir realmente a una sustentabilidad de las comunidades rurales como las de Chiapas.

Otros estudios hechos en Latinoamérica mencionan experiencias que son interesantes, como por ejemplo en Argentina (Alazraki 2006) se realizó un trabajo para comunidades pequeñas enfocado a la producción de energía solar fotovoltaica en la que menciona la importancia para el desarrollo sustentable que tiene la energía

en las comunidades puesto que es esencial para mejorar aspectos como salud, educación y vivienda así como el mejoramiento de la economía local.

A nivel internacional se está trabajando en solucionar problemas de comunidades locales con tecnologías de tipo alternativo, como es el caso de Egipto (Fath et al. 2005) en el que se trabajo en una comunidad alejada de centros urbanos para satisfacer necesidades de agua dulce y electrificación, con el fin de mejorar las condiciones de vida, ahora también pensando en el desarrollo sustentable.

En Taiwán dieron un paso más, están promoviendo las ecotecnologías a nivel de políticas públicas (Ching-chiang 2006) con el fin de revertir la tendencia de deteriorar el ambiente ecológico, existe un movimiento hacia la ecotecnología para dirigir la construcción de infraestructura hacia un mínimo impacto ecológico.

## ANEXO 2. Instrumento de la Encuesta

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CHIAPAS**  
**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE MÉXICO, CAMPUS TUXTLA**  
**Encuesta Sobre los Potenciales energéticos de las Comunidades Rurales y sus**  
**Características Socioeconómicas**

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ No. de Casa: \_\_\_\_\_

Nombre del Encuestador: \_\_\_\_\_

Localidad: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_

Cargo (en la comunidad): \_\_\_\_\_

Sexo: Masculino ( ) Femenino ( )

Nombre del cónyuge (esposa o esposo) y último: \_\_\_\_\_

Número de personas que viven en tu casa: \_\_\_\_\_

Nivel de estudios (último grado de estudios): \_\_\_\_\_

### 1. ¿Cuáles son las actividades que realizas durante el día?

MAÑANA	MEDIODIA	TARDE	NOCHE

### 2. ¿Cuál energía utilizas para hacer tus actividades diarias? Calculas cuanto gastas en tu casa en cada energía.

ENERGÍA	CANTIDAD POR SEMANA
Leña (número de leños y tamaño)	
Carbón (kilogramos aproximados)	
Gasolina (litros)	
Velas (número de velas)	
Diesel (litros)	
Pilas (número de pilas y tipo)	
Gas (kilogramos)	
Petróleo (litros)	
Otras	



3. Número de hijos:

4. Datos de cada hijo:

Nombre	Edad	grado de estudios

5. Número de habitaciones en su vivienda: \_\_\_\_\_

6. Su vivienda cuenta con (poner el número de cada una entre los paréntesis):

( ) Cocina ( ) Baño ( ) Recamaras ( ) Corredor ( ) Otro

7. Servicios: ( ) Luz ( ) Agua ( ) Gas ( ) Drenaje

8. Canasta básica - ¿Cuáles de estos alimentos consume al menos 1 vez/semana?

( ) Pan ( ) Huevo ( ) Leche ( ) Carnes ( ) Verduras ( ) Tortilla ( ) Frijoles

9. ¿Qué tan seguido se enferma al año?

Gripa ( ) Estómago ( ) Otra ( )

10. ¿Depende de algún medicamento, usted o alguien cercano? ( ) Sí ( ) No

11. ¿Qué medicamento?: \_\_\_\_\_

12. Actividades que desempeña:

( ) Agricultura ( ) Avicultura ( ) Apicultura ( ) Ganadería ( ) Turismo  
( ) Comercio ( ) Otro

## ENERGÍA ELÉCTRICA

13. ¿Qué utiliza para alumbrarse de noche?

( ) Leña ( ) Pilas ( ) Velas ( ) Petróleo ( ) Otro

14. ¿Cuánto gasta de velas al mes?: \_\_\_\_\_

15. ¿Cuánto gasta en pilas?: \_\_\_\_\_

16. ¿Cuánto gasta petróleo?: \_\_\_\_\_

17. ¿Cuánto gasta leña?: \_\_\_\_\_
18. ¿Con cuantos aparatos eléctricos cuenta en su casa?: \_\_\_\_\_
19. ¿Estaría dispuesto a obtener energía eléctrica de un modo distinto al que usted utiliza? (Energía solar por medio de paneles solares)  
( ) Sí ( ) No ¿Por qué?: \_\_\_\_\_

### AGUA

20. ¿Llega a su hogar agua por tubería? ( ) Sí ( ) No
21. ¿Es potable? ( ) Sí ( ) No
22. ¿Cómo consigue agua potable? \_\_\_\_\_
23. ¿Cuánto paga por el agua potable?: \_\_\_\_\_
24. ¿Cómo califica el servicio de agua? ( ) Bueno ( ) Regular ( ) Malo
25. ¿Necesita calentar su agua? ( ) Sí ( ) No
26. ¿Cuenta con un calentador de agua? ( ) Sí ( ) No
27. ¿Cuánto gasta en combustible para calentar su agua?: \_\_\_\_\_ (puede cuantificarse en cantidad de combustible como leña, petróleo, etc.)
28. ¿Requiere agua caliente para algún proceso productivo?  
( ) Sí ¿Cuál? \_\_\_\_\_ ( ) No
29. ¿Estaría dispuesto a utilizar nuevas tecnologías para poder potabilizar su agua  
( ) Sí ( ) No ¿Por qué? \_\_\_\_\_
30. ¿Estaría dispuesto a usar bombas solares de agua para llevarla a su hogar o rancho  
( ) Sí ( ) No ¿Por qué? \_\_\_\_\_

### PREPARACIÓN DE ALIMENTOS

31. ¿Qué usa para cocinar sus alimentos?  
( ) Estufa de gas ( ) Parrilla eléctrica ( ) Fogón de leña
32. Si es leña ¿Cuánto consume a la semana? \_\_\_\_\_

33. **¿Cuánto gasta al mes de leña en total?:** \_\_\_\_\_ (si no saben el costo, se puede cuantificar la cantidad de leña al mes)
34. **¿Qué tipo de leña es?** \_\_\_\_\_ (de que árboles o arbustos)
35. **¿De dónde trae la leña?** \_\_\_\_\_
36. **¿Cuánto le costo su estufa?:**  
 \$1- \$100  \$100-\$500  \$500-\$1000  + de \$1000
37. **¿Cuánto gasta en combustible para su estufa al mes?:** \_\_\_\_\_
38. **¿Cuánto tiempo tarda en cocinar sus alimentos?:** \_\_\_\_\_ (en horas)
39. **En caso de usar fogón, ¿conoce los riesgos que corren al cocinar con este?**  
 Sí ¿Cuáles? \_\_\_\_\_  No
40. **¿Sufre enfermedades respiratorias u oculares a causa del fogón?**  
 Sí  No
41. **¿Estaría dispuesto a utilizar un nuevo tipo de estufa más eficiente?**  
 Sí  No ¿Por qué? \_\_\_\_\_

### SECADO

42. **¿Produce usted semillas y granos en su cosecha?**  Si  No
43. **¿Produce frutas en su cosecha?**  Si  No
44. **¿Produce hierbas de igual manera**  Si  No
45. **¿Ha tenido que tirar sobreproducción de cualquiera de sus cosechas?**  Si  No
46. **Si es así ¿Por qué ha tenido que tirarlas?**  
 Plagas  Lluvias  Putrefacción  Otros \_\_\_\_\_
47. **¿Tiene alguna producción que requiera de secado?**  
 Si ¿Cuál? \_\_\_\_\_  No
48. **En caso de que si, ¿Qué técnica utiliza para el secado?**  
 Intemperie extendida  Secador de gas  Silo  Otro \_\_\_\_\_

49. ¿Cuánto tiempo se tarda en terminar el proceso de secado?: \_\_\_\_\_ (en días y horas, dependiendo del caso)

50. ¿Cuánto seca? \_\_\_\_\_ (Kilogramos)

51. Si tuviera una manera de conservar la sobreproducción ¿Aceptaría aprender nuevas técnicas de secado? ( ) Sí ( ) No ¿Por qué? \_\_\_\_\_

#### OTRAS ACTIVIDADES

52. ¿Cuenta usted con ganado? ( ) Si ( ) No

53. En caso de que si ¿Lo mantiene dentro de un corral? ( ) Si ( ) No

54. ¿El corral es suficiente para mantener controlado el ganado? ( ) Si ( ) No

55. ¿Estaría dispuesto a instalar cercos eléctricos fotovoltaicos (Accionados con el sol) ( ) Si ( ) No

56. ¿Cuenta usted con agricultura de traspatio? ( ) Si ( ) No

57. En caso de que si ¿Cómo riega su hortaliza? \_\_\_\_\_

58. ¿Estaría dispuesto a aprender a usar cualquier tecnología que ayude a su economía y nivel de vida? ( ) Si ( ) No  
¿Por qué? \_\_\_\_\_

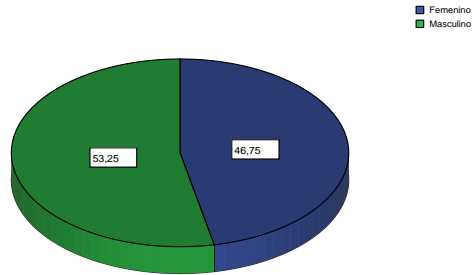
59. Comentarios finales del encuestado (en caso de que tenga)

60. Observaciones finales del Encuestador (algo que observó respecto a las preguntas hechas o algo que le llamó la atención de esta vivienda):

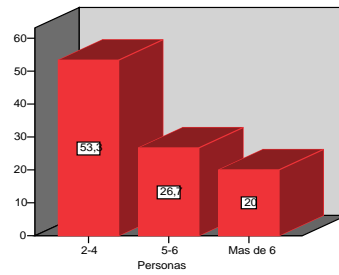
ANEXO 3. Gráficas de la Situación Socioeconómica y de los Potenciales Energéticos

Energéticos

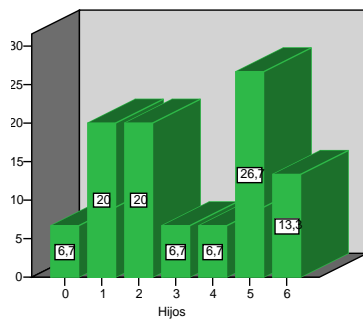
Género



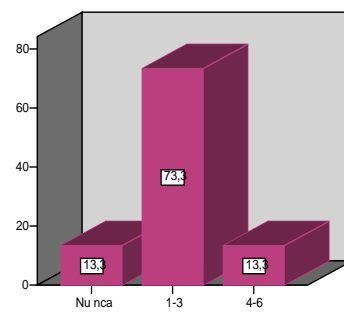
Número de personas que viven en su casa



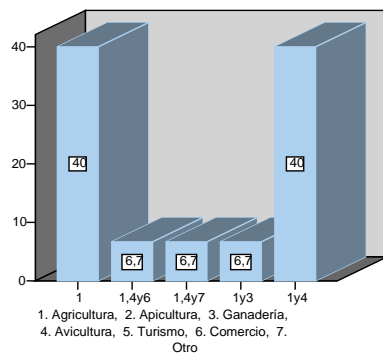
Número de hijos por Familia



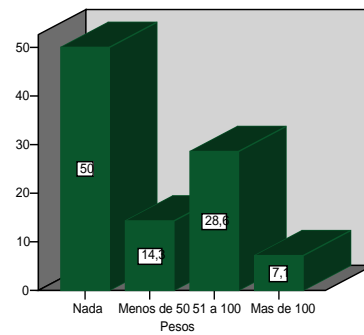
¿Qué tan seguido se enferma al año?



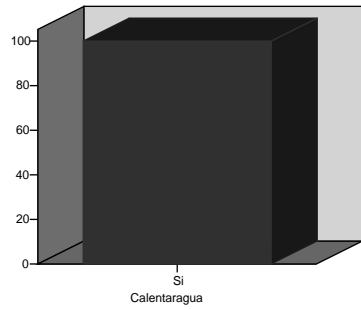
Actividades que desempeña



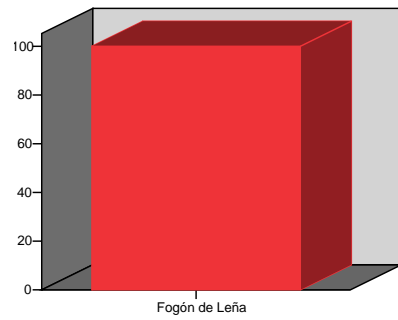
¿Cuánto gasta en petróleo al mes?



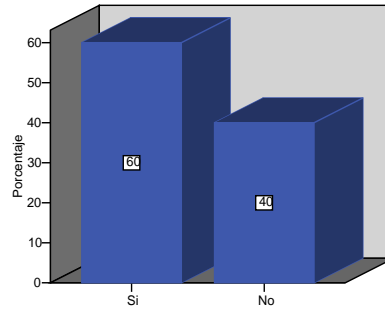
¿Necesita calentar agua?



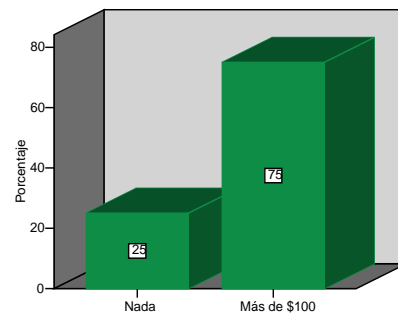
¿Qué usa para cocinar sus alimentos?



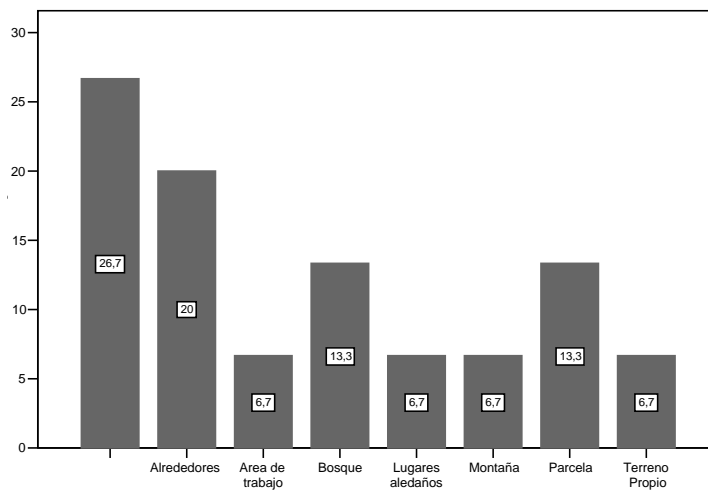
¿Requiere agua caliente para algún proceso productivo?



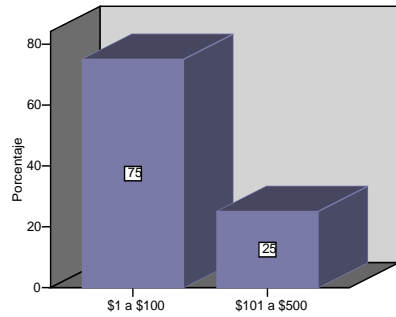
¿Cuánto gasta al mes de leña?



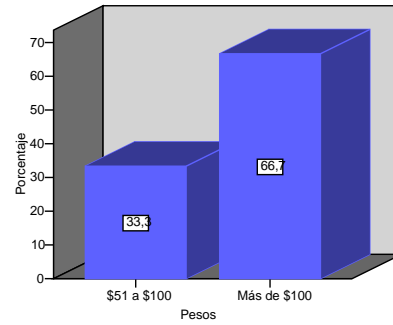
¿De dónde trae la leña?



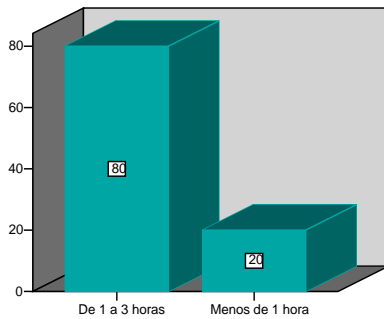
¿Cuánto le costo su estufa o fogón?



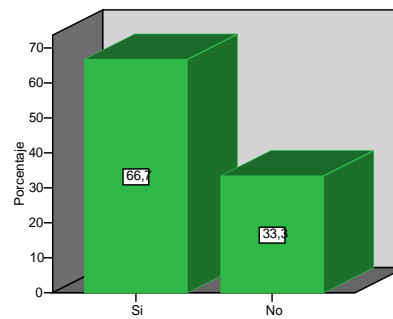
¿Cuánto gasta en combustible para su estufa al mes?



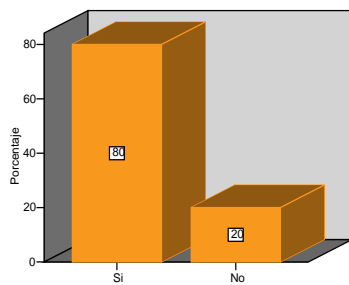
¿Cuánto tarda en cocinar sus alimentos?



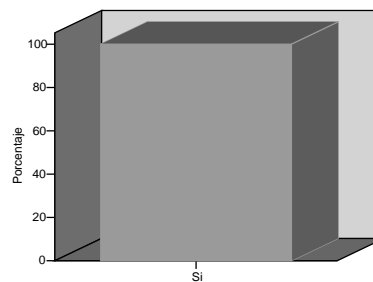
En caso de usar fogón, ¿Conoce los riesgos que corre al cocinar con este?



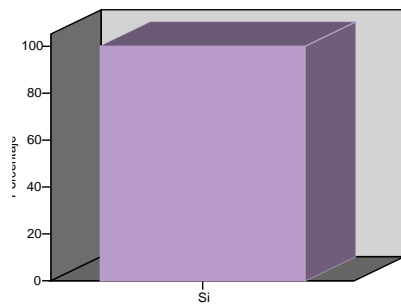
¿Sufre de enfermedades respiratorias u oculares a causa del uso del fogón?



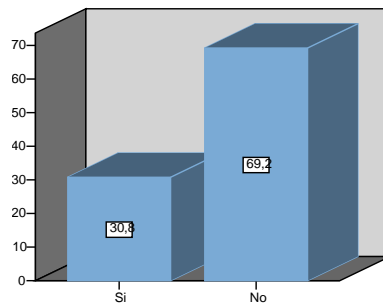
¿Estaría dispuesto a utilizar un nuevo tipo de estufa mas eficiente?



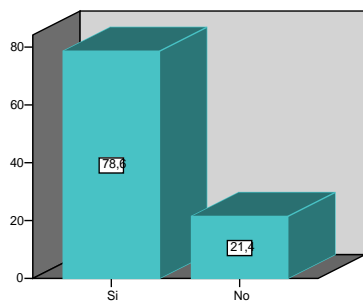
¿Produce usted semillas o granos en su cosecha?



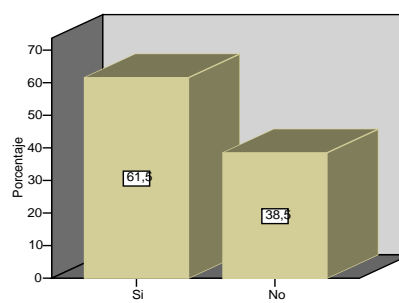
¿Produce frutas en su cosecha?



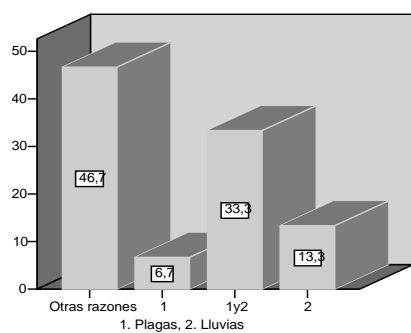
¿Produce hierbas en su cosecha?



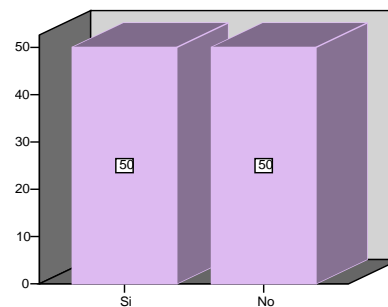
¿Ha tenido que tirar la sobreproducción de cualquiera de sus cosechas?



¿Porqué ha tenido que tirar su cosecha?

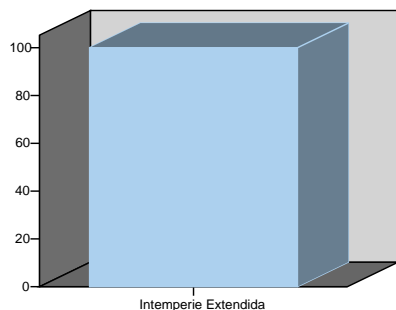


¿Alguna de sus cosechas requieren de secado?

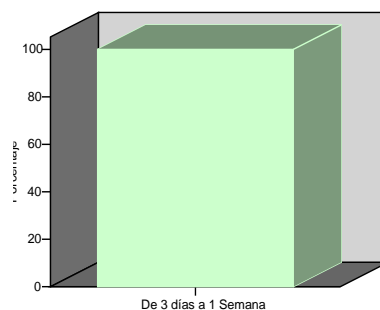




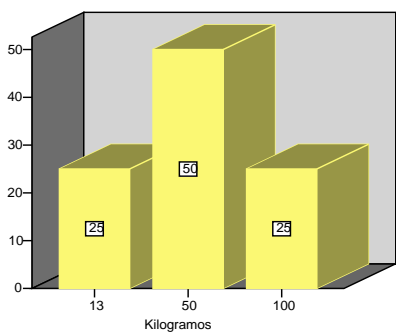
¿Qué técnica utiliza para el secado?



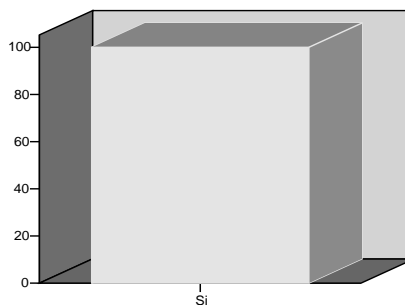
¿Cuánto tiempo se tarda en el proceso de secado?



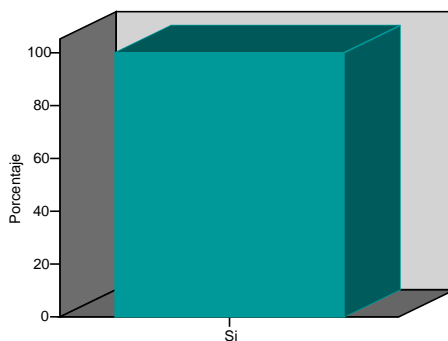
¿Cuánto seca?



¿Aceptaría aprender nuevas técnicas de secado?



¿Estaría dispuesto a aprender a usar cualquier tecnología diferente a las convencionales?



## ANEXO 4. Entrevistas

Se realizaron 14 Videos de Entrevistas a Sujetos Clave de la Comunidad Monte Horeb. A continuación se presenta un ejemplo aplicado a Enoch Hernández Díaz. En esta entrevista se hacen preguntas sobre las actividades, la fauna, el entorno, educación y el uso de la primera tecnología instalada en la comunidad (sistema fotovoltaico).

### MHvideo2



**Entrevistador: (A) Neín Farrera Vázquez**

**Entrevistado: (C) Enoch Hernández Díaz**

A: ¿me puedes decir tu nombre?

C: Enoch Hernández Díaz.

A: ¿La comunidad como se llama donde vives?

C: Monte Horeb.

A: Monte Horeb, le voy a enfocar el nombre miren, Monte Horeb. ¿En dónde queda Monte Horeb?

¿En qué municipio?

C: Cintalapa.

A: ¿Y más o menos por donde tienes que entrar de Cintalapa para donde agarras para entrar acá?

C: La carretera que entra en pomposo.

A: ¿Y de ahí cuanto tiempo se hace de pomposo para acá?

C: De pomposo para acá como unos 40 minutos.

A: ¿Qué tiempo tiene que vives acá?

C: 5 años

A: Y, ¿ya estas casado? ¿Tienes familia?

C: No, soltero.

A: ¿Cómo fue que llegaste aquí a Monte Horeb?

C: Llegamos aquí con mi familia, con mis papas.

A: ¿A qué te dedicas aquí en Monte Horeb?

C: A la agricultura, si a eso.

A: ¿Qué tipo de agricultura? ¿que producen?

C: Frijol, calabaza.

A: ¿Cacahuete no se da por acá?

C: Si se da pero no sembramos.

A: Y ¿tienen gallinas?

C: Si, si.

A: ¿Hay venado por acá?

C: Si, si hay.

A: ¿Y que mas? ¿Armadillo?

C: Si, tepezcuinte, jabalí.

A: ¿Hasta jabalí hay acá?

C: Si, hasta jabalí hay acá.

A: Y ¿víbora de cascabel?

C: Si, cascabel.

A: Y ¿esa se come?

C: No, esa da miedo.

A: Si, pero dicen que el cascabel sirve como medicina, no?, ¿no lo usan ustedes?

C: No.

A: Y, coralillo hay?

C: También coralillo.

A: ¿Tigre hay o no?

C: No se la mera verdad.

A: ¿Jaguar?

C: No

A: ¿Gato de monte?

C: Si hay gato de monte.

A: ¿Qué mas hay?, ¿Qué otros animalitos hay en esta zona?

C: Ardilla.

A: ¿Pajaritos hay o no?

C: Si, si hay, de diferente.

A: ¿hay gavián no?

C: Si, si hay gavián

A: ¿Y qué más se puede sembrar aparte de lo que siembran ustedes maíz, frijol.

C: Bueno, se puede sembrar chayote, yuca.

A: Cebolla

C: Cebolla

A: Zanahoria

C: Zanahoria

A: Rábano

C: Rábano

A: Brócoli?

C: Si.

A: ¿Qué más?

C: Las otras verduras también se dan, todo.

A: se da bien?

C: Si

A: ¿y que tal? ¿Cómo viven acá? ¿les gusta el lugar?

C: si, esta bonito el lugar, es fresco.

A: si verdad, es fresco, voy a hacer una mirada hacia el lugar para que se vea que, la vegetación un poquito, los cerros, acá han este, ¿cortan arboles? ¿no?

C: no mas para la leña.

A: para la leña.

C:si pala leña

A: ¿que tanto se corta para la leña?

C: ummm no se

A: cuantas leñas utilizan mas o menos?

C: por cuanto tiempo?

A: por día.

C: por día, como unas 15 leñas.

A: y este ¿Quién lo corta la leña?

C: nosotros.

A: pero, los hombres o las mujeres?

C: los hombres

A: o las mujeres no lo salen a cortar? o a veces?

C: a veces.

A: y ¿se corta o se recoge desde que esta tirada?

C: se corta.

A: a bueno, y ¿de pino o de caoba o que?

C: de roble.

A: de roble,. Y ¿esa es la mejor leña?

C: si esa es la mejor leña.

A: ¿no saca mucho humo?

C: si, si saca humo.

A: si saca humo, pero el humo, ¿ustedes también ahúman la carne o no?

C: si, si a veces.

A: la ponen a humear? O no se cuelga ahí para comer?

C: si, si.

A: y ¿Qué mas ponen a humear? Aparte de la carne, no ahúman.

C: no, solo la carne.

A: y este, ¿para bañarse utilizan agua caliente o no?

C: no, agua fría.

A: y, ¿no se enferman mucho de la garganta?

C: a veces si, de ves en cuanto.

A: y, ¿Cuándo hace mucho frio ustedes creen que podrían o deberían utilizar agua calentita o no?

C: si.

A: y, los niños, no los bañan a veces con agua caliente cuando están recién nacidos?

C: recién nacidos si los bañan con agua calentita.

A: lo calienta el agua y luego los bañan.

C: si así es.

A: ah y este y los y ¿ya más grande ya no?

C: no ya no, ya aguanta el frio ya.

A: y, en la noche se bañan? O en el día? En la mañana? A medio día? A la hora que hace mas calorcito.

C: por la tardecita que llegue uno de trabajar.

A: y, donde trabajas?

C: pues en los terreno, en la parcelas.

A: y, ¿cuanto terreno tienen de parcela?

C: donde se puede trabajar esta planito como media hectárea.

A: y, ¿lo que siembran ahí lo venden o?

C: no mas para el consumo de la familia.

A: y como, ¿para ganar dinero como le hacen?

C: vendemos unos productos que sacamos.

A: ¿Cómo que productos?

C: como el frijol, el frijol lo vendemos.

A: ah bueno, y, ¿no se van a trabajar a veces a otro lado?

C: si algunas personas se van, como aquí esta escaso el dinero pues.

A: y, ¿A dónde se van a trabajar?

C: bueno, algunos se van al otro lado, a los estados unidos, otros pala frontera.

A: y, acá a Cintalapa ¿no?

C: no aquí a Cintalapa no.

A: no se van a trabajar a los ranchos de aquí cerca?

C: si pero por día, regresan no mas.

A: ¿tu has trabajado en algún lugar por aca cerca o no?

C: si llegaba a trabajar de vez en cuando.

A: y, ¿cómo vas? Yo ví que tu tenias una moto la ves pasada o no?

C: si, ay esta en la casa, si.

A: y, ¿esa moto le tienes que poner gasolina no?

C: si le tenemos que poner gasolina.

A: y, ¿a donde viajas con esa moto?

C: nomas hacer mandado, hacer compras ay a la otra colonia.

A: y, ¿donde compras la gasolina?

C: a veces traemos de cintalapa, a veces de pomposo si.

A: y, ¿sale cara la gasolina?

C: si como 9.50 creo el litro

A: y, ¿Cuántos litros tienes que comprar al mes?

C: tengo que comprar al menos como 15 litros.

A: a más o menos es algo; son como 150,140.

C: si como 150.

A: ah y, ¿de dónde sacas la paga para comprar la gasolina?

C: de los productos que a veces sacamos de ahí sacamos la paga.

A: si verdad porque...

C: si

A: eso no camina solo

C: cuando no hay, hay que ir a pie.

A: a bueno haber te voy hacer las últimas preguntas. ¿Qué opinas de las últimas tecnologías que estamos trayendo?

C: pienso que está bien que sea bueno para la colonia.

A: ¿tú sabes como funciona el biodigestor?

C: no, no.

A: ahorita les mostré unas fotografías.

C: no, no.

A: pero mas o menos que, para que sirve el biodigestor.

C: para, para sacar este; para ponerle como fertilizante a las.

A: pero que se le mete al biodigestor para que funcione, que es lo que tiene uno que meter ahí?

C: bueno, este los estiércoles de los animales.

A: y, ¿luego que produce?

C: produce gas.

A: y, ¿el gas para que nos va servir.

C: bueno, para la cocina.

A: ah ok, acá la gente, ¿alguien tiene estufa de gas aquí, o no?

C: no.

A: pero, ¿si la has visto funcionar?

C: si, si, lo he visto.

A: ¿si has visto que se prende con un cerillo y todo?

C: si.

A: y, ¿Qué piensas? ¿Tu crees que podrían funcionar acá estas estufas para ustedes?

C: si, si.

A: ¿les gustaría tener una de esas?

C: claro que si me gustaría tener aquí.

A: Y, acerca del sistema fotovoltaico que tiene la escuelita que ya instalamos, ¿Qué piensas?

C: bueno, que esta bien, que es para beneficio de la comunidad.

A: y tu crees que en estos días que ha estado instalado, ha mejorado o ha servido para algo ese sistema fotovoltaico el que tengan luz en la escuelita?

C: si, pues como antes no había luz, ahorita si hay luz, contamos con.

A: y, que han hecho con la luz, con la televisión, que sirve ya para, han visto algunas películas me decían no?

C: si, si.

A: y, que mas han hecho? Todavía no han utilizado, digamos para, para lo que, ¿tú sabes leer? Para leer en la noche, no?

C: no tenemos.

A: en la casa no? Pero los maestros si lo utilizan para, prepara su clase para.

C: no se la mera verdad si lo utilizan.

A: ¿pero has visto si ha estado prendida la luz en las noches?

C: si, si, la luz si.

A: ¿si esta prendida? La televisión que en ha venido ha verla?

C: casi la mayor parte de la comunidad.

A: ah bueno, y ¿los niños?

C: también.

A: ¿Qué han visto los niños en la televisión?

C: las caricaturas que dejaron.

A: ah, muy bien y, ¿les ha gustado?

C: si, si.

A: ¿se ríen más o menos, poquito?

C: sí, sí.

A: y, ¿ustedes también las han visto no?

C: sí, sí las hemos visto.

A: y, otras películas han visto también, ¿verdad?

C: sí, sí.

A: ¿Cómo que películas?

C: no, me acuerdo.

A: ¿no te acuerdas del nombre de alguna?

C: no.

A: y, ¿de que se trataba la película que viste?

C: ya no me acuerdo muy bien.

A: ¿pero de la ciudad? O ¿del campo? ¿de que? Y ¿hablaban en español o en inglés en la película?

C: en español.

A: y, ¿esas películas quien las consiguió?

C: un señor, los prestaron acá.

A: ah bueno y ¿quisieras ver otras películas o?

C: sí, claro pero no tenemos.

A: ah bueno, oye ¿aquí hay gente que no sabe leer, no sabe escribir ya, adultos?

C: sí, sí hay.

A: y ¿tu crees que si les enseñan pueden aprender?

C: sí, yo sí.

A: el sistema fotovoltaico que trajimos se supone que es también para traer este, para utilizar el dvd y la televisión para que aprendan a leer, ¿Qué piensas que si esta bien o?

C: si esta bien que todos aprendamos a leer.

A: ¿tu sabes escribir o no?

C: sí, sí, un poco.

A: un poco, ¿te falta un poquito?

C: me falta un poquito.

A: ¿los acentos?

C: sí, exactamente los acentos.

A: ¿la ortografía?

C: aja

A: muy bien, pues gracias por la entrevista, un último comentario que quieras hacer, que quieras decir algo para la gente de la ciudad o de la universidad algo que, que quieras comentar de que venimos, ¿Qué piensas de que venimos?

C: muchas gracias por, especialmente por ustedes que nos vienen a visitar acá o nos apoyan pues.



A: si, ya, ya.

C: es para beneficio de la comunidad.

A: ¿ya nos conocen bien? O ¿ya más o menos?

C: si, ya los vamos conociendo.

A: ah bueno gracias.

C: si.

---

Duración de video 12:23 min

**ANEXO 5. Historia Fotográfica del Trabajo de Campo****Contacto y primeras reuniones**

Reunión con habitantes de la comunidad donde se analizaron los criterios de selección y se comentaron los objetivos generales del proyecto

---



Después de la selección se pidió la participación de los habitantes en el diagnóstico y toma de decisiones

---



Se hicieron reuniones con los demás miembros de la comunidad, incluyendo mujeres y niños



Se explicó el concepto general del proyecto integral en diferentes puntos de la comunidad

## Recorrido por las viviendas y alrededores



Vivienda típica de madera (exterior)



Interior de una vivienda, se pueden observar las carencias y hacinación



Comunidad



Río



Ubicación de la comunidad y el río aproximadamente 30 metros verticalmente abajo



Recorrido por la comunidad



Recorrido por los terrenos de cultivo a un costado del río



## Encuesta



Estudiantes organizándose para aplicar la encuesta



Encuesta y enumeración de las viviendas



Los equipos de estudiantes se distribuyeron para aplicar la encuesta y conocer la situación socioeconómica de los habitantes, sensibilizándose y estableciendo empatía con la comunidad



Los estudiantes conocieron el interior de las viviendas y obtuvieron la información requerida



Estudiantes, académicos y miembros de la comunidad después de la aplicación de la encuesta

## Entrevistas



Entrevista a un grupo de mujeres de la comunidad



Entrevistas grabadas



Entrevistas en las viviendas a padres de familia



Entrevistas a niños



Comisariado Ejidal al principio del proyecto: Daniel Hernández Díaz



Comisariado Ejidal actual: Guadalupe Hernández Hernández

## Viviendas



Vivienda típica de adobe



Baño ubicado en el exterior de las viviendas



El alumbrado al interior es con lámparas de petróleo y el fogón de la cocina



El abastecimiento y almacenamiento de agua se hace con cubetas



Almacenamiento y secado de productos agrícolas en el interior de la vivienda



Los alimentos preparados en fogones rudimentarios

## Recursos y potenciales energéticos



Abundante biomasa en época de lluvia



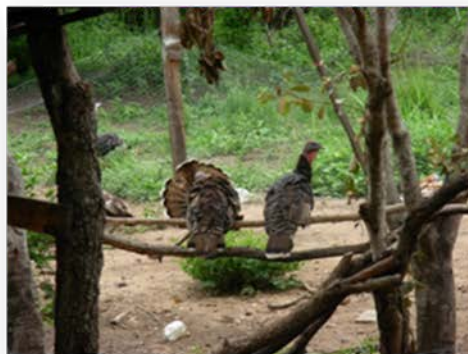
Pozo de abastecimiento de agua para consumo de los habitantes



Leña principal combustible para cocción de alimentos y madera para construcción de viviendas



Piedra obtenida en los alrededores de la localidad



Guajolotes y gallinas, principales animales de traspatio para autoconsumo

## Recursos y potenciales energéticos



Río tipo perenne



Algunos borregos para autoconsumo



Cascada con potencial para producción de energía minihidráulica



Aserrín en lugares cercanos a la comunidad



Radiación solar suficiente para sistemas fotovoltaicos



Estiércol con potencial para producción de biogás



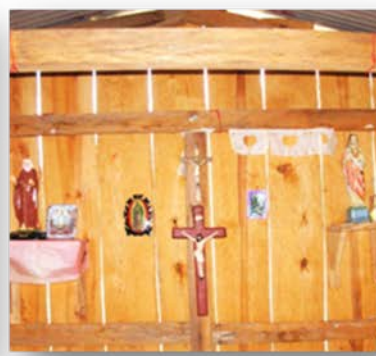
## Actividades deportivas, culturales y religiosas



Celda para guardar el orden (no se ha utilizado)



Entrega de balón a los niños para actividades deportivas



Templo católico



Actividades recreativas de los niños



Escuela con nivel preescolar y primaria



Tablero de Basquetbol agosto 2009



Torneo de basquetbol enero 2011 (cancha completa)

## Habitantes



Niños de preescolar



Habitante de la comunidad que regresó de EU



Mujer acarreando leña



Habitante de la comunidad en curso de alfabetización



Niña en el interior de la cocina aspirando humo



Jugando



Niños de la comunidad siempre atentos al proyecto



## Convivencia, sensibilización e integración



Actividades de convivencia y apoyo organizada por los estudiantes participantes en el proyecto



Entrega de libretas, dulces, juguetes y pelotas comprados por los propios estudiantes después de conocer las carencias de la comunidad



Integración de académicos y estudiantes con miembros de la comunidad



Juegos organizado con niños y adultos como parte de la integración entre los habitantes y participantes del proyecto



Niños disfrutando de las pelotas obsequiadas

## Evaluación clínica y de actitud ante la tecnología



Estudiantes de la maestría en psicología de UVM en reunión preparatoria para la aplicación de la evaluación en la comunidad Monte Horeb



Equipo de trabajo listo para trabajo de campo



Aplicación de encuesta



Evaluación clínica



**BIBLIOGRAFÍA**

Aceves, F. Chiapas: Tecnologías Ambientales Socialmente Apropriadas. México. Instituto Politécnico Nacional. 2000.

Alazraky R et al. Assessing the uptake of small-scale photovoltaic electricity production in Argentina: the PERMER project. Science Direct. 2006.

Almanza R., Martínez I. Las fuentes de energía, el consumo actual y las posibilidades de futuro. La revista solar, Asociación Nacional de Energía Solar. Número 55, Septiembre 2005.

Alider J. et al. Alternativas para un mejor medio ambiente. Revista Parcelas agroforestales y estufas de leña eficientes.. Con el patrocinio de EPM. Fundación Columba, 2004.

Balance Nacional de Energía 2006. Secretaría de Energía, Primera edición. México, DF, ISBN: 968-874-207-4, [www.energia.gob.mx](http://www.energia.gob.mx). 2007

Baquadano M. ¿Qué son las tecnologías apropiadas?. Revista Tecnologías apropiadas en América Latina. CEUTA. 2005.

Baldwin S. Biomass Stoves: Engineering Design, Development and. Dissemination. Princeton University, 2000.

Bryden Mark, et al. Principios de diseño para estufas de cocción con leña. Aprovecho Research Center, Shell Foundation, Partnership for Clean Indoor Air, Capítulo 2, 3,4, 5, 2006

Camarena E. et al Work experiences in installation of biodigesters in rural communities of the Guanajuato State. División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato Salamanca, Universidad de Guanajuato. Congreso Internacional y Feria Industrial de Energía Guanajuato. 2009.

Castañeda A. et al. Desarrollo de un horno solar con Control Difuso para el secado de Jamaica. 32 Semana Nacional de Energía Solar. Mérida, Yucatán. STS – 02. 2008.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Estufas Ahorradoras de Leña para el Hogar Rural, Validación y Construcción. Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico No. 216. 1994.

Checkland P. Limusa. Pensamiento de Sistemas Práctica de Sistemas. Noriega Editores. México. Edición 2004

COCOSO Chiapas. Proyecto integral, producción de biodiesel en Chiapas (2 de diciembre de 2010). [www.cocoso.chiapas.gob.mx](http://www.cocoso.chiapas.gob.mx) Boletín. 3438. Tomado Enero 2011.

Combetto et al. El rol de las fuentes energéticas no convencionales en el desarrollo sustentable de comunidades rurales aisladas. Un estudio de caso. Cuadernos de la facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Noviembre, número 013, Universidad de Jujuy, San Salvador de Jujuy, Argentina. 2000

De los Ríos E. Fomento de alternativas para el uso de leña. Revista Solar, ANES. Año 26, Número 62. Página 2 Diciembre. 2007

Escobar M. et al. DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO DEL USO, DEMANDA Y ABASTECIMIENTO DE LEÑA EN UNA COMUNIDAD ZOQUE DEL CENTRO DE CHIAPAS, MÉXICO, Ra Ximhai, mayo-agosto, año/Vol.5, Número 2, Universidad Autónoma Indígena de México, Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 201-223. 2009

Espinoza L. y Valentín C. Sociedad y medio ambiente. Salamanca, Universidad de Salamanca. pp. 53-74. El cambio social más allá de los límites al crecimiento: un nuevo referente para el realismo en la sociología ecológica. 2006



Fatha H. et al. A stand alone complex for the production of water, food, electrical power and salts for the sustainable development of small communities in remote areas. Egyptian Association for Water & Energy. 2005.

Flores V. y Cuevas J. Cocinas solares tipo concentrador parabólico compuesto. XXVIII Semana Nacional de Energía Solar, Octubre 2004, Oaxaca, Oaxaca.

Flores V., Acosta R. y Arroyo U. Evaluación de una estufa solar para aplicación en zonas rurales. 7° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Ciudad de México. Octubre 2005

Finck P. Secado Solar. 32 Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). Mérida Yucatán. Página 1-3. 2008

FUNDACIÓN SODIS, Noticias Técnicas de la No. 1 a la 17, <http://www.sodis.ch.>, Cochabamba Bolivia. 1998.

Garcia E. Universitat de València, Dpto. Sociología y Antropología Social, 2006.

García Rolando. Sistemas Complejos: conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Editorial Gedisa. Barcelona,. Pág. 21. [2] Ídem, Pág. 33. [3] Ídem, Pág. 93, 94. 2006

Gbaha P. Experimental investigation of a solar dryer with natural convective heat flow. *Renewable Energy* 32 (2007) 1817–1829. Received 14 April 2006; accepted 4 October 2006. Available online 10 January 2007

Hernández L. y Velasco T. Implementación y Puesta en Marcha de un Biodigestor Modelo DM-1 para la Generación, Caracterización y uso de Biogás, Producto de la Digestión Anaerobia de las Excretas de Ganado Bovino. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Ambiental. Tesis de Licenciatura. Octubre 2010.

Informe sobre Desarrollo Humano México 2006-2007. México: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. 2007.

Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República – Centro de Investigación en Energía UNAM. Nuevas Energías Renovables, una alternativa energética sustentable para México. Agosto 2004

IPCC, 2007. Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. Pág. 5. 2007

Jaume R., i Martín. Curso de energía solar, Tomo I. Centro de tecnología educativa S. A. Cuarta edición. Barcelona, España. 2001.

Junemann y Legarreta. Inhalación de humo de leña: una causa relevante pero poco reconocida de enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Revista Argentina de Medicina. No 2: 51-57. 2007

Kniffki J. et al. Metodología Comunitaria para el Desarrollo Social. Manual. Editorial Don Bosco. Primera Edición Marzo 2010.

Leff E et al. Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. 2ª Edición. Editorial siglo XXI. Pp. 472. 2000

Martínez J. Curso de Economía Ecológica. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA. Oficina regional para América Latina y el Caribe. Serie Textos Básicos para la Formulación Ambiental. No. 1. México. 1998

Masera O., Diaz R., Berruela V. Programa para el uso sustentable de la leña en México. De la construcción de estufas a la apropiación de tecnología. TCSD 03-05. 2003.

Matsumoto Y. et al. PV Status in México. Semana 32 de Energía Solar. Mérida, Yucatán. México. 2008

Moomaw W. Renewable Energy and Climate Change An Overview. The Fletcher School, Tufts University, USA. De: IPCC SCOPING MEETING ON RENEWABLE ENERGY SOURCES. January, ONU. 2008.

Moser S., Heri S., Mosler H.J., Determinants of the diffusion of SODIS. A quantitative field study in Bolivia. Summary Report. EAWAG, , Dübendorf. 2005

Mulugetta Y. Renewable Energy Technology and Implementation Mechanisms for Ethiopia. Energy Sources, Part B, 2:3–17, 2007

Nañez S. Ahorradoras de Leña. Impulso Ambiental, Número 27. Enero-Febrero 2005. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable CECDESU. 2005

Osman Y. y Can E. Thin layer drying of some vegetable. Drying Technology, 19(3&4) (2001) 583–597. 2001.

Pilatowsky I. et al. Sistemas de Calentamiento de Agua, Una guía para el consumidor. Editorial Trillas. México 1998. Segunda Edición 2009.

Pinto F. Energías Renovables y Desarrollo Sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de La Vereda Carrizal en Sutamarchán. Cuadernos de Desarrollo Rural,

Segundo semestre, número 053, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, pp. 103-132. 2004

Ramos G. y Patiño A. Dimensionamiento, selección y beneficios del uso de calentadores solares de agua en el sector doméstico. La Revista Solar, Número 57 -. ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR A.C. página 5. Marzo 2006

Ratti C. y Mujumdar A., Solar drying of foods: modeling and numerical simulation. Sol.energy, 60(3) (1997) 151–157.

Rincon E. A., Lentz A. E. La Cocina Solar Tolokatsin 3. XIV Congreso Ibérico y IX Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vigo, Galicia, España, 17-21 junio 2008.

Sánchez J. Tecnología aplicada al bombeo de agua. FIRCO México 262p. 2002

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP). Subsecretaría de Asentamientos Humanos. La Energía en los Asentamientos Humanos. Una Tesis de México. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Fuentes de Energía Nuevas y Renovables. Nairobi, Kenia. Agosto 10 – 21, Página 7. 1981

SENER. Prospectivas del Sector Eléctrico 2005-2014. 2005

Simate I., Simulation of the mixed-mode natural-convection solar drying of maize, *Drying Technology*, 19(6) 1137–1155. 2001.

Soares D. Género, Leña y Sostenibilidad: El caso de una comunidad de los Altos de Chiapas. *Economía Sociedad y Territorio*. Mayo-Agosto, Vol. VI. El Colegio Mexiquense. Toluca México. pp. 151-175. 2006.

T. Miramare, Design and measured performance of a solar chimney for natural-circulation solar-energy dryers, *Renew. Energy*, 10(1) 81–90. 1997

Teissier H. *El Desarrollo Sustentable. Su influencia en la cooperación internacional y en los planes y programas de desarrollo en México*. Plaza y Valdez, México. pp. 144. 2006.

Torres F. y Gómez E. *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. Secretaría de Energía (SENER) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). México, 2006.

Torres L. Deshidratador solar. *La Revista Solar*. ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR A.C. Número 58 - Junio. Página 14. 2006.

William M. *Renewable Energy and Climate Change An Overview*. The Fletcher School, Tufts University, USA. De: IPCC SCOPING MEETING ON

RENEWABLE ENERGY SOURCES. January, ONU. Página 4. 2008.

US Department of Energy. Azteca Solar, the México Renewable Energy Program 1992-2005. Solar Energy Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy. 2004.

Zaman M. y Ball B. Thin layer solar drying of rough rice, Sol. Energy, 42. 167–171. 1989.

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1.1 Gases de Efecto Invernadero en Chiapas	4
Figura 1.1.2 Temperatura actual y proyectada en Chiapas	5
Figura 1.2.1. Comparación de las no renovables con la energía solar que se recibe en la Tierra anualmente	7
Figura 1.3.1. Leña para cocción de alimentos en la comunidad rural Monte Horeb, Municipio de Cintalapa, Chiapas.	15
Figura. 1.4.1. Consumo de energía renovable en América Latina en el 2004	17
Figura 1.5.1. a) Secador solar con acumulación térmica de tipo indirecto y convección natural. b) Secador solar tipo indirecto por convección natural	21
Figura 1.5.2. Secador solar indirecto por Convección Forzada	22
Figura 1.5.3. Secador Solar típico de tipo Indirecto por Convección Natural	23
Figura 1.5.4. Secador de Concentración Solar	23
Figura 1.5.5. Deshidratador Solar Pasivo de tipo Directo	24
Figura 1.5.6. Calentadores de Agua Solares	26
Figura 1.5.7. Estufa de Concentración Solar con Geometría	28
Figura 1.5.8. Estufa “Ecológica” y “Citlali”	30
Figura 2.2.1 Comparación del consumo de combustible de un “adulto estándar”	53
Figura 3.1.1 Proceso de Intervención para desarrollar e implementar tecnologías	63
Figura 3.1.2 Selección de la Comunidad	65

---



Figura 3.1.3. Recorrido de estudiantes, académicos y miembros de la comunidad para evaluar los potenciales energéticos	67
Figura 3.1.4. Principales Potenciales energéticos encontrados en Monte Horeb y sus alrededores	68
Figura 3.1.5. Aplicación de la Encuesta	69
Figura 3.1.6. Entrevista a habitantes de la Comunidad Monte Horeb	70
Figura 3.1.7. Participación de los habitantes en el proceso, incluyendo mujeres y niños	71
Figura 3.1.8. Necesidades identificadas: Cocción de alimentos, eliminación de humo, consumo de leña y agua caliente	72
Figura 3.1.9. Desechos que contaminan el manto freático en Monte Horeb	73
Figura 3.1.10. Necesidad de secado de productos agrícolas en Monte Horeb	74
Figura 3.1.11. Proceso general de diseño y construcción de los prototipos	75
Figura 3.1.12. a) La cocción de alimentos de manera eficiente y saludable una prioridad,	77
b) Problema de ingeniería	
3.1.13. Modelo de la primera versión de la estufa Lekil Vaj	78
Figura 3.1.14. Primer Prototipo de Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj y pruebas iniciales de funcionamiento	79
Figura 3.1.15. Modelado de la Versión final de la estufa Lekil Vaj, integración de los componentes e inclusión de ahumador de carne	79
Figura 3.1.16. Secador Solar Multipropósito hecho con materiales térmicos prefabricados	80

---

Figura 3.1.17. Secador Solar (vista interior/corte sección A-A)	82
Figura 3.1.18. Modelo final de biodigestor rígido	83
Figura 3.2.1. Ubicación de Monte Horeb, Municipio de Cintalapa en relación a Tuxtla Gutiérrez	89
Figura 3.2.2. Ubicación de Monte Horeb en el estado de Chiapas y en México	89
Figura 3.2.3. Comunidad Monte Horeb	90
Figura 3.2.4. Vista aérea de la Comunidad Monte Horeb	91
Figura 3.2.5. Mapa Geológico	91
Figura 3.2.6. Río La Cascada	92
Figura 3.2.7. Pozo artesiano utilizado para consumo humano.	92
Figura 3.2.8. Vegetación y uso de suelo	93
Figura 3.2.9. Familia en la Comunidad Monte Horeb	94
Figura 3.2.10. Datos estadísticos de la población	94
Figura 3.2.11. Interior de escuela, nivel preescolar	95
Figura 3.2.12. Viviendas típicas	96
Figura 4.1.1. Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj. Cámara de Combustión: 1.Leña, 2.Biogás, 3.Aserrín	100
Figura 4.1.2. Componentes de la Estufa Lekil Vaj	101
Figura 4.1.3. Pruebas de funcionamiento con miembros de la comunidad y prototipo final de la Estufa Multifuncional Ahorradora Lekil Vaj	102
Figura 4.1.4. Esquema de Estufa Lekil Vaj y componentes	103
Figura 4.1.5. Puntos evaluados en el termotanque, ahumador y comal	104
Figura 4.1.6. Temperatura del agua al interior del termotanque con Leña	105

---

Figura 4.1.7. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura promedio en el comal	106
Figura 4.1.8. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura máxima en la hornilla	107
Figura 4.1.9. Comparación de tres fuentes de combustible temperatura promedio en el Ahumador	108
Figura 4.1.10. Comparación de las tres fuentes de combustible al calentar un litro de agua	109
Figura 4.1.11. Modelación de la Estufa Ahorradora para dos comunidades del Municipio de la Independencia, Chiapas	111
Figura 4.1.12. Prototipo de Estufa Ahorradora con miembros de las Comunidades de Tierra Blanca y Rosario de la Montaña del Municipio de La Independencia, Chiapas	112
Figura 4.2.1. Secador Multipropósito hecho con módulos prefabricados	113
Figura 4.2.2. Dimensiones básicas del secador solar propuesto	114
Figura 4.2.3. Modelo tridimensional del secador solar multipropósito hecho con multimuros	115
Figura 4.2.4. Radiación solar en un día típico de alta incidencia	117
Figura 4.2.5. Temperatura en diferentes partes del secador solar multipropósito	118
Figura 4.2.6. Humedad Relativa en el Ambiente y en la Cámara de Secado	119
Figura 4.2.7. Evaluación del Secador solar en un día de Alta Radiación midiendo Temperatura Ambiente y Temperatura dentro de la C. de Secado.	121

---

Figura 4.2.8. Evaluación del Secador Solar en un día de Baja Radiación solar	122
Figura 4.2.9. Evaluación con carga del Secador Solar Multipropósito	124
Figura 4.2.10. Secado de Queso Fresco de nueve muestras durante 22 días de evaluación.	125
Figura 4.3.1. Dimensiones del Biodigestor Rígido propuesto y prototipo en construcción	126
Figura 4.3.2. Comparación del biodigestor rígido propuesto con el biodigestor tipo tailandés.	127
Figura 4.3.3. Prototipo demostrativo instalado en Monte Horeb	128
Figura 4.3.4. Producción de Biogás en litros en 60 días de evaluación	129
Figura 4.2.5. Evaluación de Temperatura Ambiente, Temperatura al interior del Biodigestor, Producción de Biogás y pH durante 60 días de evaluación	130