



# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS

## CONSTRUCCION, IMPLEMENTACION Y EVALUACION DE UNA ESTUFA AHORRADORA DE LEÑA

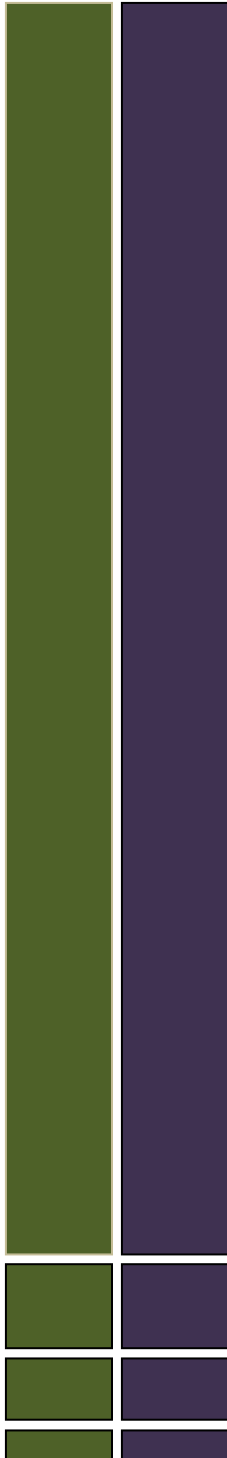
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS EN DESARROLLO  
SUSTENTABLE

PRESENTA  
LORENA DEL ROCIO RAMIREZ RODAS

DIRECTORES  
DR. JOEL MOREIRA ACOSTA  
DR. PASCUAL LÓPEZ DE PAZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.

FEBRERO 2014



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Joel Moreira Acosta por sus conocimientos, apoyo y entusiasmo brindado en este trabajo, porque sin su guía esto no hubiese podido ser. Por demostrarme que no hay obstáculos, solo retos divertidos. Gracias amigo.

Al Dr. Pascual López de Paz por demostrarme que las metas propuestas se pueden conseguir y darme cada día un motivo para disfrutar el trabajo.

Al Dr. Neín Farrera Vázquez por enseñarme un nuevo modo de hacer las cosas, por darme siempre algo para analizar y por sus consejos.

A mi Familia, por todo el cariño, apoyo, risas y sobre todo por creer en mí a lo largo de este trabajo.

A Zitlalli Libertad, por apoyarme y motivarme a continuar sin importar cuán difícil sea la situación y tantas cosas más que no terminaría en tiempo de escribir.

A mis amigos por sus palabras de apoyo.

## DEDICATORIA

*A Camila, quien con su amor  
inspira mi vida.*

*A Zitlalli, Martin y Harry por  
seguir conmigo.*

## ÍNDICE

### CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 El empleo la de leña como recurso energético en América Latina y el Caribe	.....1
1.2 Daños ocasionados por el uso desmedido de la leña como combustible	.....2
1.3 Estudios realizados sobre la factibilidad de diferentes estufas ahorradoras de leña	.....6

### CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Modelo de aplicación de tecnologías	.....8
2.2 Generación de energía a partir de la transformación de biomasa	.....8
2.2.1 Procesos termoquímicos de transformación de biomasa	.....8
2.3 Generalidades del uso de la leña	.....9
2.3.1 Problemas generados por el uso de leña como combustible	.....10
2.3.2 Transportación de leña desde la zona de extracción al lugar de uso	.....11
2.3.3 Emisiones generadas durante la combustión de leña	.....11
2.3.4 Impactos en la salud	.....11
2.4 Bases teóricas para la elaboración de la estufas	.....13
2.4.1 Tipos de tecnologías empleados en la cocción con leña	.....14
2.4.2 Estufas mejoradas o eficientes	.....14
2.4.3 Aspectos técnicos del diseño de estufas ahorradoras de leña	.....16
2.4.4 Análisis de modelos de estufas ahorradoras de leña	.....15
2.5 Metodología empleada en la implementación y aceptación de tecnologías	.....17

### **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

<b>3.1 Criterios de elección de la comunidad</b>	<b>.....18</b>
<b>3.2 Descripción del área de estudio</b>	<b>.....19</b>
<b>3.3 Construcción de la estufa</b>	<b>.....22</b>
<b>3.4 Selección de parámetros a evaluar</b>	<b>.....25</b>
<b>3.5 Características de los equipos empleados en la medición de los diferentes parámetros</b>	<b>.....27</b>
<b>3.6 Construcción e implementación masiva de las estufas</b>	<b>.....29</b>

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

<b>4.1 Diagnóstico de la comunidad</b>	<b>.....32</b>
<b>4.1.1 Determinación de la concentración de CO, CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa dentro de las viviendas</b>	<b>.....35</b>
<b>4.2 Diseño de la estufa</b>	<b>.....43</b>
<b>4.3. Construcción de las estufas</b>	<b>.....50</b>
<b>4.4 Implementación de la estufa en la comunidad de Tierra Blanca</b>	<b>.....56</b>
<b>4.5. Evaluación de la estufa</b>	<b>.....59</b>

### **CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>.....65</b>
---------------------------------------	----------------

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>.....67</b>
-----------------------------------	----------------

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 3.1 Ubicación de la comunidad de Tierra Blanca</b>	<b>.....19</b>
<b>Fig. 3.2. Multímetro digital de gancho marca Steren modelo Mul-100</b>	<b>.....29</b>
<b>Fig. 3.3 vehículo en el que se transportaran las estufas</b>	<b>.....30</b>
<b>Fig.4.1 Gases inhalados por los miembros de la familia. Comunidad Tierra Blanca</b>	<b>.....31</b>
<b>Fig.4.2. Consumo ineficiente de leña y tala indiscriminada por el uso de fogones abiertos</b>	<b>.....32</b>
<b>Fig.4.3. Acarreo y seccionado de la leña por mujeres</b>	<b>.....32</b>
<b>Fig.4.4. Contaminación interna en los hogares debido al humo</b>	<b>.....33</b>
<b>Fig.4.5. Estufas “Ahorradoras” implementadas en varias comunidades de Chiapas</b>	<b>.....34</b>
<b>Fig.4.6. Medición de la concentración de CO dentro de las viviendas</b>	<b>.....35</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
<b>Grafica 4.1 Comparación de los niveles de CO en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional</b>	.....36
<b>Grafica 4.2. Concentración de CO dentro de la cocina para diferentes distancias desde el fogón para una cocina típica</b>	.....38
<b>Grafica 4.3 Comparación de los niveles de CO<sub>2</sub> en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional</b>	.....39
<b>Grafica 4.4 Comparación de niveles de Temperatura ambiente en la estufa Ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional</b>	.....40
<b>Grafica 4.5 Temperatura registrada dentro de la vivienda y temperatura ambiente en cualquier punto fuera de la vivienda a partir de 1 m a la redonda de ésta</b>	.....41
<b>Grafica 4.6 Comparación de niveles de Humedad Relativa en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional</b>	.....41
<b>Grafica 4.7 comportamiento térmico de la estufa ecológica Lekil vaj en la fase de calentamiento</b>	.....59
<b>Grafica 4.8 Comportamiento de la temperatura en el comal de la estufa ecológica Lekil Vaj</b>	.....60
<b>Grafica 4.9 Comportamiento de la temperatura en la fase de enfriamiento</b>	.....61
<b>Gráfica 4.10 Comparación de cantidad de alimentos cocidos y leña utilizada en cada dispositivo</b>	.....62

## INTRODUCCIÓN

En muchas comunidades rurales del estado de Chiapas y de México pueden observarse las carencias económicas y el rezago social, originados por la lejanía de los núcleos de población, la dispersión y en algunas ocasiones por el olvido por quienes deberían apoyar y solventar sus necesidades.

El desarrollo energético es uno de los principales problemas que afrontan las comunidades rurales e indígenas en todo país. Si bien en muchas comunidades la falta de recursos económicos es tangible, también lo es el potencial energético de sus recursos naturales. Siendo la biomasa, uno de los que principalmente puede aprovecharse de múltiples formas, desde la cocción de alimentos hasta producción de energía eléctrica.

En México existen dos tipos principales de biocombustibles utilizados en el país: la leña (incluyendo carbón vegetal y residuos forestales y agrícolas) y el bagazo de caña que se utiliza esencialmente en la industria azucarera; juntos aportaron el 5 % de la energía final nacional en el 2008 (Maserá et al., 2011). Actualmente en nuestro país, desde el punto de vista energético, la leña suministra el 80% de la energía consumida en comunidades, alrededor de 4000 GJ/año (SENER, 2011).

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, destiladores tortillerías (cocción de nixtamal y elaboración a mano) y productores artesanales en general (Maserá et al, 2003; Maserá et al, 2005). Pero la actividad que emplea la mayor cantidad de leña colectada es la cocción de alimentos (Escobar et al, 2009).

En la comunidad de Tierra Blanca, municipio de La Independencia, Chiapas, se presenta una inmensa riqueza forestal, la cual poco a poco desaparece debido a la deforestación por el uso indiscriminado de leña, utilizada principalmente para la cocción de alimentos.



La mayoría de las viviendas del lugar cuentan con un fogón tradicional que no emplea el calor de la combustión de leña de forma eficiente, libera Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono y partículas finas, ensucia tanto los recipientes empleados en la cocción de alimentos como las viviendas al entrar en contacto con las partículas además de utilizar cantidades excesivas de leña (22 kg por vivienda en algunas comunidades del estado de Chiapas).

Mientras más leña se consuma en un fogón tradicional, mayor será la cantidad de gases nocivos para la salud que habrá de ingerir una persona tales como el monóxido y el dióxido de carbono, por lo que su salud se verá afectada en mayor medida a diferencia de un ambiente donde no se entra en contacto con este tipo de gases.

Han sido diversos los esfuerzos por ofrecer una solución a los problemas anteriormente descritos. Resultado de ello han surgido una amplia gama de estufas ecológicas, sin embargo la mayoría de ellas han demostrado ser térmicamente ineficientes o no toman en cuenta los aspectos culturales al realizar el diseño del dispositivo o el momento de la implementación. Las consecuencias de esto son dispositivos con los que no se ha llevado a cabo la transferencia tecnológica donde han sido implementados.

En aras de contribuir a la solución de los problemas anteriormente mencionados específicamente para disminuir los impactos negativos al ambiente y a la salud humana por el uso del fogón típico en la comunidad de Tierra Blanca se diseñó, construyó, evaluó e implementó un modelo de estufa ahorradora de leña eficiente. Para conocer cuál era la eficiencia de la estufa con respecto al fogón típico de la comunidad, se realizaron mediciones comparativas de diversos parámetros tales como: tiempo de cocción de los alimentos típicos, cantidad de leña empleada para la cocción de alimentos, concentración de Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), temperatura y humedad relativa.

## **OBJETIVOS**

### **General:**

Construir, implementar y evaluar una estufa ahorradora de leña para su uso en una comunidad rural que permita la disminución de impactos negativos al ambiente y a la salud de la población.

### **Específicos**

1. Construir y evaluar un prototipo de estufa ahorradora de leña con materiales altamente resistentes a las condiciones de operación.
2. Construir e Implementar masivamente las estufas ahorradoras de leña en la comunidad seleccionada.
3. Realizar una evaluación comparativa entre el fogón típico utilizado en la comunidad rural y la estufa desarrollada, en función de la cantidad de leña utilizada y el tiempo de cocción de los alimentos tradicionales de la comunidad así como la emisión de gases de efecto invernadero específicamente Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

### **Hipótesis**

La estufa ahorradora de leña construida puede satisfacer la necesidad de cocción de alimentos a su vez que disminuye la cantidad de leña a utilizar y la emisión de gases nocivos para la salud comparada con el fogón típico de la comunidad donde se implementara.

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

### 1.1 El empleo la de leña como recurso energético en América Latina y el Caribe

La leña es un combustible sólido, cuyo contenido de humedad cuyo contenido de humedad puede variar entre 15 y 40% por ciento de su masa, dependiendo este porcentaje del tiempo de almacenamiento, de la temperatura ambiente y de la humedad del aire. Para combustionar correctamente en una estufa ecológica la leña debe tener un contenido de humedad por debajo del 25 %. Normalmente este porcentaje se logra después de dos años si la leña se encuentra “secándose a la intemperie”.

El poder calorífico interno de la leña se encuentra entre 1400 y 2100 kWh/tn dependiendo del tipo de árbol del cual provenga. Usualmente en las viviendas se emplea este combustible en segmentos que van desde 0.25 hasta 1 metro de longitud. Este tamaño se encuentra determinado por el tamaño de la estufa y las costumbres en la cocción de alimentos.

La leña es un combustible vital para el bienestar básico y para la realización de actividades económicas en los países en desarrollo, tanto en el área rural como en la urbana (Bhat y Tomar, 2002; Rijal y Yoshida, 2002). La leña constituye un elemento básico para la cocción de alimentos y calefacción en algunos países de la Confederación Andina de Naciones (CAN), el Caribe y del Mercado Común del Sur (MERCOSUR). De acuerdo con las estadísticas, en 2007 en la región se produjeron 435 Miles de Barriles Equivalentes de Petróleo (KBEP) para satisfacer las necesidades de la población, con un incremento del 2,36% comparado con la producción de 2006 (OLADE 2008). La tabla 1 presenta la producción de leña en los países de América Latina y el Caribe (ALAC) para 2007 y la variación entre 1998 y 2007. En el caso de México, el uso de leña es la principal fuente de energía para la cocción de alimentos en las zonas rurales, 27.2 millones de personas utilizan únicamente leña o alguna combinación con gas por lo que su tasa de crecimiento aumenta (Díaz y Masera, 2003).

PRODUCCIÓN DE LEÑA EN ALAC (kbep)				TASA DE CRECIMIENTO (%)	
País	1998	2006	2007	1998-2007	2006-2007
Argentina	7.105,30	8.331,40	8.331,40	1,78	0
Bolivia	2.938,22	2.672,88	2.672,88	-1,05	0
Brasil	154.816,09	204.821,75	205.820,75	3,21	0,49
Chile	29.125,43	35.056,80	36.939,34	-1,7	-0,03

Colombia	18.093,91	15.508,70	15.503,48	-1,7	-0,03
Costa Rica	361,14	3.082,48	3.413,74	28,35	10,75
Cuba	2.169,10	1.602,57	3.666,33	6,01	128,78
Ecuador	4.280,10	3.465,58	3.369,61	-2,62	-2,77
El Salvador	8.064,69	8.809,79	8.809,79	0,99	0
Guatemala	20.220,23	25.405,40	26.218,51	2,93	3,20
Haití	12.054,32	13.524,80	13.524,80	1,29	0
Honduras	11.434,35	10.461,76	10.984,84	-0,44	5
Jamaica	2.237,58	1.278,85	1.278,85	-6,03	0
<b>México</b>	<b>42.710,63</b>	<b>42.570,72</b>	<b>42.493,55</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,18</b>
Nicaragua	8.065,34	9.984,92	10.083,58	2,51	0,99
Panamá	2.835,24	3.561,90	3.349,64	1,87	-5,96
Paraguay	13.563,95	12.633,92	13.963,31	0,32	10,52
Perú	13.166,10	13.800,37	14.860,91	1,36	7,68
Rep. Dominicana	8.228,17	3.946,72	3.946,72	-7,84	0
Uruguay	2.961,5	3.107,78	3.181,27	0,8	2,36
Venezuela	206,89	175,78	206,8	-15	17,65
<b>Total LA&amp;C</b>	<b>366.618,4</b>	<b>425.973,92</b>	<b>434.789,18</b>	<b>1,91</b>	<b>2,07</b>

Tabla 1.1 consumo de leña en América Latina y el Caribe en periodo 1998-2007.

Actualmente la mayoría de las viviendas rurales indígenas de México utilizan fogones tradicionales abiertos que generalmente consisten en unos bloques de piedra o estructuras simples de metal puestos alrededor de una pila de leña y sobre esta se colocan los recipientes en los cuales se cocinará (Díaz y Masera, 2003).

## 1.2 Daños ocasionados por el uso desmedido de la leña como combustible

En las visitas realizadas a diferentes comunidades del Estado de Chiapas por el grupo de trabajo multidisciplinario liderado por doctores especialistas en el área de energías renovables y sustentabilidad y teniendo como apoyo a estudiantes de posgrado, se observó que la mayor demanda energética en el hogar es la elaboración de tortillas, ya que la realización de esta tarea requiere hasta el 50% de la leña destinada para el autoconsumo. Para llevar a cabo esta actividad las mujeres pasan entre tres y cuatro horas frente al fogón inhalando el humo procedente de la quema de leña.

Además del tiempo que la mujeres invierten en la cocción de los alimentos, el uso de grandes cantidades de leña diarias representa un mayor trabajo para ellas y para los niños, ya que generalmente son quienes se encargan de transportar la leña desde la zona donde es extraída hasta la vivienda donde se emplea, que muchas veces conlleva recorrer un camino de hasta 5 kilómetros; además son ellos los que

sufren el impacto ambiental diferencial con relación a los demás miembros de la familia al verse más directamente afectados por la reducción en la disponibilidad del recurso en zonas cercanas (Godínez y Iazos, 2003).

Actualmente la mayoría de las viviendas rurales e indígenas de México sobretodo las instaladas en las comunidades de Chiapas, utilizan fogones tradicionales abiertos, los cuales tienen varias desventajas dentro de las que se destacan:

1.- Salud de los habitantes. El humo que se genera de la combustión de la leña es aspirado por las personas que la habitan dañando seriamente la salud de las mismas.

Existe mayor índice de enfermedades respiratorias y de los ojos entre las personas que se encuentran expuestas al humo y partículas contaminantes provenientes de la combustión de leña, lo anterior ocurre debido a que la combustión de la biomasa en fogones abiertos se da de manera incompleta e incontrolada y genera con ello una gran cantidad de partículas y gases contaminantes (GIRA, 2004). . Enfermedades como el enfisema pulmonar, enfermedad pulmonar obstructiva y bronquitis crónica son frecuentes y pasan casi desapercibidas en comunidades rurales que emplean fogones abiertos.

De acuerdo con Cooper (1982) citado por Smith (1987) la quema de biomasa en fogones abiertos genera:

- Diecisiete sustancias consideradas “contaminantes prioritarios” por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, para los cuales existe evidencia de toxicidad;
- Más de catorce compuestos carcinógenos;
- Seis tóxicos para los cilios y agentes muco-coagulantes; y
- Cuatro precursores del cáncer.

2.- Medio Ambientales. Los fogones tradicionales emplean grandes cantidades de leña ya que ninguno puede optimizar las temperaturas o reducir las pérdidas al ambiente.

La deforestación de bosques debido a la búsqueda y uso del recurso energético y el consecuente aumento en la emisión de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), principal gas de efecto invernadero han provocado terribles afectaciones al ambiente. Además este tipo de fogones utilizan una cantidad no racional de leña implicando una tala indiscriminada de árboles con sus consecuentes impactos al ecosistema. Se ha encontrado a través de diferentes diagnósticos realizados que en algunas

comunidades las familias destinan hasta el 15 ó 20% de sus ingresos para la compra de leña (Maserá y Díaz, 2003).

3.- Equidad de género. Las mujeres y niñas son quienes realizan la difícil tarea de acarreo y seccionado de la leña en la mayoría de las comunidades rurales. En las visitas a diversas zonas del estado de Chiapas, se ha visto que no importa la edad de las mujeres. Cuando son muy jóvenes ayudan como compañía y cargando lo que su tamaño y fuerza les permite resistir; las mujeres de mayor edad, incluso las que superan los 55 años deben cargar lo que aun puedan. Al realizar las mediciones de la cantidad de leña y distancia recorrida se ha encontrado que como promedio cargan 23 Kg y recorren unos 2.5 km de distancia.

4.- Daños a la vivienda y bienes. Los gases y partículas emitidos por la combustión del combustible provocan contaminación interna dentro de los hogares, implicando que los utensilios o vasijas para cocinar se le cree una costra negra prácticamente imposible de eliminar después de un tiempo, de igual forma ocurre con el techo y paredes de la habitación.

### **1.3 Empleo de diferentes modelos de estufas ahorradoras dentro de las comunidades rurales**

Estufas ahorradoras de leña más tradicionales como la Patsari, Lorena, Onil, Maya o algunas de sus variantes también siguen siendo implementadas en diferentes comunidades de Chiapas. Desafortunadamente, la mayoría no son sustentables pues no cumplen con el mínimo de eficiencia energética teniendo mínimos ahorros de leña al compararse con el fogón tradicional; permiten el escape de gran parte del calor generado dentro de la cámara de combustión; sufren deterioro prematuramente dejando escapar el humo dentro de la habitación con sus ya conocidas consecuencias y muchas de ellas ni siquiera ahorran la cantidad de leña en los porcentajes que señalan. Se pudo observar en la comunidad de Tierra Blanca, estos modelos aún presentan diversos inconvenientes como los siguientes:

1. Son dispositivos que al estar constituidos por materiales relativamente pesados, tales como blocs, cemento, barro, varillas, etc., deben ser construidos en el lugar de su instalación y en muchas ocasiones por personas que no poseen el conocimiento adecuado para realizar dicha actividad.
2. Los materiales de los cuales se construyen necesitan mantenimiento y reparación constante lo cual es costoso para los usuarios.

3. Los tiempos de cocción son muchas veces mayores a los que se tiene en un fogón tradicional.
4. Ocupan demasiado espacio dentro de la vivienda, esto debido al tamaño de sus bases y no pueden cambiarse de lugar o transportarse en caso de que la familia cambie de vivienda.
5. Sufren roturas antes de los primeros 2 años implicando la salida de humo dentro del hogar provocando no solo daño a la salud sino también una gruesa capa de tizne en las ollas, paredes y techo de la habitación
6. El gasto de leña sigue siendo significativo, lo cual representa no solo una gran presión sobre los bosques cercano, sino también un enorme sacrificio para las mujeres y niñas que tienen que caminar como promedio 2.4 km para acarrear entre 25-30 kg de leña.
7. La temperatura que emiten hacia los laterales afecta la salud de las mujeres y generalmente causan quemaduras.
8. La mayoría no usa como aislante o elementos de construcción materiales locales, lo cual imposibilita una adecuada reparación y mantenimiento.

La experiencia generada a partir de los éxitos y, particularmente, de los errores en el tema de las estufas eficientes para la cocción con leña; ha servido como base para la nueva generación de estufas. Actualmente se parte de que las estufas ahorradoras de leña no solamente deben diseñarse para ahorrar leña, sino que ahora deben considerar temas como la salud y la participación de los usuarios; así como las implicaciones ambientales, tanto locales como globales (Díaz y Masera, 2003). En el caso de los temas globales, se incluyen los efectos asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Gobierno Federal a través de la SEDESOL ha implementado 279 469 estufas en los últimos años en Chiapas. A pesar de este enorme esfuerzo realizado por el Gobierno Federal sigue siendo insignificante comparado con la magnitud del problema, aproximadamente 4 500 000 (cuatro millones y medio) de familias necesitan igual número de estufa en todo el país, al ritmo actual se requerirían de 20 a 25 años para dotarlas de esta tecnología y si lo multiplicamos por los 2 500 pesos promedio que cuesta uno de estos dispositivos actuales se necesitarían unos 11 250 000 000 de pesos para su solución (buscar el presupuesto para los programas sociales).

### 1.3 Estudios realizados sobre la factibilidad de diferentes estufas ahorradoras de leña

En 2003, Díaz et al, a través de la información obtenida por instituciones gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, comunidades y algunos investigadores, concluyeron que en México el uso de leña en fogones abiertos está asociado con una gran cantidad de impactos a la salud de los usuarios y al ambiente. La combustión de biomasa libera una gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), partículas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, óxido nitroso, monóxido de carbono; todos con efectos adversos a la salud.

De forma simultánea en el estudio realizado por Díaz et al, con respecto al uso de estufas ahorradoras de leña concluyó que un beneficio adicional de las estufas eficientes es la reducción por humo asociado a la combustión de leña en fogones abiertos, característica que se traduce en mejoras sensibles a la salud de los pobladores rurales.

En el año 2008, el Programa de Desarrollo Rural de Guatemala, llevo a cabo el Estudio de Evaluación de Estufas ahorradoras de Leña realizado en el altiplano occidental, en su primera fase. El estudio se efectuó en los municipios de Huitán, Quetzaltenango; Sipacapa, San Marcos; Santa Bárbara, Huehuetenango; Santa Lucía La Reforma; Totonicapán y San Juan La Laguna, Sololá. Los modelos evaluados fueron la esta tipo plancha mejorada, la estufa de plancha tipo Onil, Estufa Eco-Comal, y un testigo que fue el fogón abierto evaluados (Programa de Desarrollo Rural, 2008).

Los parámetros a evaluar fueron el funcionamiento de estufas ahorradoras de leña en base al consumo de leña y tiempo de cocción de los alimentos básico de esa región (maíz y frijol) y la identificación de un tipo de estufa que reuniera las condiciones adecuadas de cocción de alimentos, comodidad y aceptación de las amas de casa estableciendo la preferencia de ellas por algún modelo de los evaluados (Programa de Desarrollo Rural, 2008).

Las conclusiones del estudio fueron las siguientes:

- a) La estufa de plancha tipo Onil, fue la que más leña ahorro en las pruebas de cocción de maíz y frijol, Eco-Comal y plancha mejorada le siguieron en esa prueba;
- b) el resultado del estudio de aceptabilidad y preferencia por las amas de casa concluyó que la estufa con mayor aceptación fue la Plancha Mejorada debido a que ellas (las amas de casa) observaron que “es más grande, los alimentos se cocinan rápido, le caben más ollas se cocina todo junto, a la cámara de combustión le cabe



leña más gruesa, es mas cómoda, se puede tortear en mayor cantidad, sirve de mesa y lugar de reunión familiar” evaluados (Programa de Desarrollo Rural, 2008).

Simultáneamente se ha llevado acabo un diagnóstico sobre la eficiencia de los modelos de estufas ahorradoras de leña implementados en la comunidad rural seleccionada como parte de este trabajo de investigación.

Los problemas y condiciones anteriormente descritos, son los que impulsaron al grupo de trabajo a buscar una solución que resolviera los problemas de la comunidad bajo el esquema de desarrollo integral comunitario. Este fue muy importante ya que toma en cuenta los factores culturales de cada comunidad, que para el caso de una estufa ahorradora de leña toma elementos propios de la comunidad para evitar algunos de los inconvenientes descritos en el apartado 1.2 de este capítulo.

## **CAPÍTULO 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Modelo de aplicación de tecnologías**

Al introducir una nueva tecnología sobre todo en áreas rurales e indígenas, deben tomarse no solo los beneficios obtenidos a través de la tecnología implementada, sino todo lo relacionado desde su elaboración hasta los impactos de su aplicación. Por ello la construcción, evaluación e implementación de esta estufa ahorradora de leña están diseñadas en base a un modelo de integración tecnológica.

Dicho modelo considera que en base a los recursos naturales disponibles se deben resolver las necesidades sociales empleando las tecnologías apropiadas. Este modelo se basa en que una vez debidamente identificado el problema social se haga un inventario de la cantidad, los tipos y el grado de recuperación de los recursos naturales con que se cuenta, se analizarán las diferentes tecnologías que se pueden implementar y se optará por aquella que genere menores impactos ambientales negativos, sea viable económicamente y que presente mayor grado de aceptación social.

### **2.2 Generación de energía a partir de la transformación de biomasa**

La humanidad siempre ha utilizado la biomasa como combustible. Desde la leña, hasta los excrementos desecados de ganado, estos presentan la mayor parte de las características favorables de los combustibles fósiles, ya que poseen alto contenido energético por volumen, son fáciles de transportar y almacenar además de tener buena combustión.

Por otra parte la biomasa no tiene muchos de los inconvenientes que presentan los combustibles fósiles, es decir no tiene altos contenidos de azufre, no forma escorias en su combustión, posee bajo contenido en cenizas asimismo su empleo comparado con el uso de combustibles fósiles contribuye a mejorar la calidad del ambiente (Jarabo, 1999).

#### **2.2.1 Procesos termoquímicos de transformación de biomasa**

Como lo menciona Jarabo (1999) en su libro “La energía de la biomasa” para transformar la biomasa a través de procesos termoquímicos se necesita someterla a la acción de altas temperaturas y están clasificadas en tres categorías. Si se emplea exceso de aire se trata de combustión, en presencia de cantidades limitadas de aire se lleva a cabo gasificación, y por último en ausencia completa de aire la pirolisis.

### 2.3 Generalidades del uso de la leña

La leña se considera una fuente de energía primaria, lo que significa que se obtiene directamente de la naturaleza, específicamente de los recursos forestales. La composición aproximada de la madera es: 49% Carbono, 6% Hidrógeno y 45% Oxígeno, con ligeras variaciones. La energía contenida en la madera, con un 20% de humedad, es de 15GJ/ton o 10GJ/m<sup>3</sup> (Boyle 2004). Incluye los troncos y ramas de los árboles, pero excluye los desechos de la actividad maderera (OLADE 2008). De acuerdo con Singer *“...La leña es la fuente más antigua de calor utilizada por el hombre, lo que quizás se debe al hecho de que es mucho más accesible que otros combustibles y a que prende fácilmente. A esa accesibilidad se debe el que aún hoy día se siga quemando en hogares primitivos de acuerdo con métodos tradicionales. El resultado no puede ser otro que un intenso consumo equivalente a un verdadero despilfarro”* (Singer s.f).

La leña se reconoce como parte de los recursos de los ecosistemas que prestan servicios básicos a las sociedades. El consumo de leña está determinado por variables técnicas, económicas, ecosistémicas, sociales y culturales, se aprecia que la leña es considerada un servicio de suministro y que tiene implicaciones a nivel de bienes de materiales para una buena vida y para la salud, por ser recurso que sirve para cocción y calefacción y también por tener incidencia en las buenas relaciones sociales; esto puede evidenciarse en las casas campesinas, en las que la visita se realiza muchas veces en la cocina, dependiendo de la confianza de la visita, por ser este el sitio más acogedor (González-Martínez 2007).

De acuerdo con la Food and Agricultural Organization (FAO): *“...La producción total de madera en 2000 alcanzó aproximadamente 3900 millones de metros cúbicos, de los cuales 2300 millones se utilizaron como combustible. Esto significa que alrededor del 60 por ciento de las extracciones mundiales totales de madera de los bosques y de los árboles fuera del bosque se utilizan con fines energéticos. Dicho de otra manera, la energía es la principal aplicación de la biomasa forestal obtenida de los bosques y de los árboles fuera del bosque”* (FAO 2008).

Malyshev (2009) en su artículo *—Looking ahead: energy, climate change and pro-poor responses—*, advierte cómo en la actualidad hay aproximadamente 2600 millones de personas que usan leña, carbón o residuos agrícolas, para suplir sus necesidades energéticas para cocción y para calefacción, y se espera, según las proyecciones, que para 2030 la cifra ascienda a 2700 millones de habitantes. Además, informa que hay más de 1600 millones de personas sin acceso a la energía eléctrica, lo que corresponde a un cuarto de la población mundial.

### 2.3.1 Problemas generados por el uso de leña como combustible

Entre los inconvenientes que presenta la leña, para su uso como combustibles, se encuentran: su alto contenido de álcalis, principalmente potasio, el contenido de humedad y la heterogeneidad de los 30 materiales que pueden dar lugar durante el proceso de combustión a la generación de altas emisiones de CO y otros inquemados a la atmósfera (García et al, 2001). Otros elementos producidos por la combustión de la madera son los aldehídos, compuestos hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH's), compuestos volátiles como dioxinas, consideradas mutagénicas, en tamaños de partícula con diámetro <10 micrones, lo que las hace respirables. Trabajos realizados por la World Health organization (WHO) reportan que la cocción con leña puede estar asociada a incremento en enfermedades como la tuberculosis o algunos tipos de cáncer incluido el nasofaríngeo, el de laringe y el de boca (Torres-Dosal et al, 2008; Smith, 2006; WHO, 2009).

De acuerdo con Cooper (1982) citado por Smith (1987) la quema de biomasa en fogones abiertos genera:

- Diecisiete sustancias consideradas “contaminantes prioritarios” por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos, para los cuales existe evidencia de toxicidad;
- Más de catorce compuestos carcinógenos;
- Seis tóxicos para los cilios y agentes muco-coagulantes; y Cuatro precursores del cáncer.

Las estufas abiertas de leña emiten entre 10-180 gramos de monóxido de carbono (CO) por kg de leña. Los efectos del monóxido de carbono al mezclarse con la sangre son entre otros: disminución de los niveles de oxígeno, lo que afecta el corazón, y en concentraciones elevadas generan pérdida de conciencia, daño cerebral e incluso la muerte. El contacto con dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) durante temporadas prolongadas, origina enfermedades respiratorias, especialmente en los niños menores de 4 años. Por su parte, la exposición al dióxido de sulfuro (SO<sub>2</sub>) produce tos, congestión en el pecho, bronquitis, reducción en las funciones pulmonares y aumento en el riesgo prematuro de muerte. Las partículas suspendidas producen pulmonía, asma y bronquitis (Martínez, 2003; WHO, 2009).

Otros trabajos, identifican la relación existente entre consumo de leña como combustible en los hogares y el peso de los recién nacidos, encontrando una relación negativa entre el humo producido por la preparación de alimentos y el peso de los infantes (Boy et al, 2003; WHO, 2009).

### 2.3.2 Transportación de leña desde la zona de extracción al lugar de uso

Adicionalmente, Martínez (2003) referencia varios trabajos sobre calidad de vida y uso de leña entre ellos los de Filmer y Pritchett (1996), Dasgupta (1993), Loughran y Pritchett (1997) y UNICEF (2008) los cuales reportan que los hogares destinan una parte significativa de su tiempo a recolectar leña y que son las mujeres y los niños los que realizan esta labor. Estos trabajos plantean que la fecundidad también tiene relación con la necesidad de manos para desempeñar las labores diarias como la recolección de leña (Filmer y Pritchett, 1996; Dasgupta, 2003; Loughran y Pritchett, 2003 y Unicef, 2008).

### 2.3.3 Emisiones generadas durante la combustión de leña

Se calcula que la mejora en la eficiencia de cocción con estufas de leña en México podría reducir hasta en 160 millones de toneladas las emisiones de CO<sub>2</sub> en un período de 20 años (World Bank 2009). El estudio realizado por Roden y otros (2006), estima que la cocción con estufas que usan biocombustibles aportan el 20% de los aerosoles de carbón negro y de carbón orgánico. Estos elementos contribuyen al balance de la radiación de la tierra, pues el carbón negro absorbe radiación, calentando la atmósfera y enfriando el suelo, mientras el carbón orgánico repele la luz, enfriando tanto la atmósfera como el suelo.

La United States Environmental Protection Agency (EPA), reporta que la contaminación del aire interior por preparación de alimentos, aumenta la probabilidad de que sus miembros contraigan enfermedades respiratorias agudas y genera pérdidas de bienestar, siendo entre 2 a 5 veces más alta que la externa. Los gases contaminantes emitidos son principalmente monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de sulfuro y partículas finas (World Health Organization, 2009).

### 2.3.4 Impactos en la salud

La exposición doméstica al humo de biomasa (principalmente leña) representa la segunda causa de Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Alrededor del 45% de la población mundial utiliza combustibles de biomasa sólida y en México, el 69% de los hogares en áreas rurales y urbanas marginadas utilizan leña como combustible primario. Los mecanismos patogénicos en la EPOC asociada a la exposición de humo de biomasa se conocen sólo de forma parcial.

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) se caracteriza por la limitación irreversible del flujo aéreo debido a inflamación de las vías aéreas, acompañada de un deterioro progresivo en el estado general de la salud de los pacientes. Dicha limitación del flujo aéreo es progresiva e irreversible, asociándose a una respuesta

inflamatoria anormal seguida de la destrucción del parénquima pulmonar, vías aéreas pequeñas y sobretodo en las arterias pulmonares ([www.goldcopd.com/GuidelineResources.asp?l152&l250](http://www.goldcopd.com/GuidelineResources.asp?l152&l250), 2007).

Recientemente en el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER) se desarrolló un modelo crónico de EPOC en cobayos, inducido con la exposición al humo producido por la combustión de 60 g de leña (madera de pino) por día durante 7 meses. En este modelo se encontraron alteraciones histológicas en las vías aéreas, parénquima pulmonar y sistema vascular pulmonar, consistentes en la presencia de enfisema, hipertensión pulmonar e hiperplasia del músculo liso, en paralelo al análisis de la expresión génica y actividad enzimática que mostró incremento en las metaloproteinasas MMP-1, MMP-2, y MMP-9 concomitante a la presencia de muerte celular por apoptosis. Todo lo anterior ocurrió después de 3 a 7 meses de exposición al humo de leña; y con ello, se lograron simular las características morfológicas y bioquímicas que ocurren en la EPOC observada en el humano, así como en modelos experimentales inducidos con humo de tabaco y otros agentes (Fehrenbach, 2006; Groneberg, 2004).

De acuerdo con el Global Burden of Disease (GBD) estudio realizado con el auspicio de la Organización Mundial de la Salud y el Banco Mundial, la EPOC es la cuarta causa de muerte en el mundo con 2,75 millones (1,41 millones en hombres y 1,34 millones en mujeres) y representa el 4,8% de la mortalidad global por todas las causas (Smith et al, 2004). Se predice un aumento de la mortalidad debido a esta enfermedad para los próximos años debido incremento en el uso leña como combustible.

Estimaciones recientes indican que 1,5 a 2 millones de muertes en el mundo son atribuibles a la contaminación dentro del hogar siendo el principal factor la combustión de biomasa. La mayoría de ellas ocurren en niños menores de 5 años por infecciones respiratorias agudas (Bruce et al, 2000; Viegli, 2004).

Se ha documentado que una quinta parte de las enfermedades se origina en factores ambientales, en especial los relacionados a su mala combustión, como la generación de CO y NOx, y que la exposición a la contaminación dentro de los hogares, causada por la quema de combustible en estufas ineficientes y sin sistemas de ventilación adecuados, provoca la muerte a cerca de dos millones de mujeres y niños anualmente. En Guatemala, este tipo de infecciones constituye la primera causa de muerte en niños menores de 5 años. (Martínez 2003). Pérez Arriaga (2002), en su trabajo sobre Energía y Desarrollo, destaca como el uso de biomasa como combustible para cocción y calefacción genera efectos nocivos cuando la combustión es incompleta tanto a nivel ambiental, dando lugar a sustancias como el metano, como a nivel social, al estimarse que más de dos millones de muertes prematuras al año de mujeres y niños en el mundo se producen por esta causa.

El estudio presentado por la WHO (2006), respecto a la polución del aire interior y su impacto en los niños, indica que los niños inhalan más contaminantes por kilogramo

que los adultos y como sus vías respiratorias son mas angostas, la irritación resulta proporcionalmente mayor así como la obstrucción de las mismas. Entre los impactos que pueden generarse sobre el cuerpo se encuentran: afectaciones a los ojos, la nariz, la faringe y la laringe, irritación de las mucosas en niveles altos; en nivel medio, la tráquea y los bronquios y en niveles menores, los bronquiolos y los alvéolos.

Los compuestos que generan afectaciones son: aldehídos, amoniaco, compuestos clorados, ozono, dióxido de nitrógeno y fosfatos. Las partículas de tamaños entre 2.5 a 10 micrones, se depositan en el tracto respiratorio superior y en las vías respiratorias mayores y las más finas, (< a 2.5 micrones) pueden alcanzar las terminales de los bronquios y los alvéolos. La exposición por largos periodos a contaminación interior de aire, genera disminución en el crecimiento de los pulmones.

El mismo informe, presenta como tercer factor para la muerte de niños entre 0 y 4 años, el humo interior producido por la combustión de combustibles sólidos, carbón y biomasa, usados específicamente para cocción. Se considera que la mitad de las muertes en niños menores de 5 años, esto es 1'000.000, se debe a estos usos (World Health and the Environment 2006).

#### **2.4 Bases teóricas para la elaboración de la estufas**

Uno de los primero trabajos completos que ayudaron al entendimiento moderno de las estufas ahorradoras de leña fueron los del Dr. Samuel Baldwin quien detalla diez principios de diseño para crear estufas que combinen la combustión limpia y completa junto con la optimización del intercambio térmico. Él establece que todo tipo de estufa de alimentación de leña puede diseñarse primero conforme a las necesidades de la población local y se debe terminar por adaptar estos principios a los modelos construidos (Baldwin, 1987). Para un mejor entendimiento estos principios o bases se han colocado en el apartado de anexos de este trabajo.

El primero de sus principios, propone que es necesario aislar alrededor del fuego con materiales livianos y resistentes al calor. Los ejemplos de materiales naturales con propiedades aislantes incluyen la piedra pómez, la vermiculita, la ceniza de madera y los ladrillos refractarios livianos (Baldwin, 1987).

El principio seis explica que la falta de corriente de aire en el fuego resulta en humo y exceso de carbón. Mejorar la eficiencia del intercambio térmico a la olla o plancha es el factor más importante que reducirá el uso de combustible en una estufa de cocina (Baldwin, 1987).

En México, en los últimos años se han desarrollado varias iniciativas para trabajar con una diversidad de diseños de estufas ahorradoras de leña y planes de diseminación (RETA, 2004). La mayoría de quienes emplean este tipo de estufas lo

hacen con una variante de la estufa Lorena y otros están promoviendo la estufa Justa y la Rocket portátil.

El Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C. (GIRA), una organización no gubernamental y el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) han estado colaborando desde mediados de los años noventa para desarrollar y aplicar un programa multi-institucional y de largo plazo encaminado al desarrollo y promoción de un modelo sustentable para el uso de leña en los hogares mexicanos; basado en el concepto de uso múltiple de combustibles (Maserá et al, 2000).

El programa está integrado por cinco componentes principales, los cuales están estrechamente vinculados:

- Innovación de tecnología.
- Diseminación de estufas;
- Desarrollo de pequeñas empresas locales;
- Monitoreo y evaluación ;
- Fortalecimiento del programa.

#### **2.4.1 Tipos de tecnologías empleados en la cocción con leña.**

Actualmente existen dos tipos de tecnologías para la cocción de alimentos: Los fogones tradicionales y las estufas ecológicas de leña. Los hornos de leña no están considerados de esta sección debido a que en las comunidades rurales se emplea mayormente (en ocasiones el 100 % de las viviendas) el fogón o estufa ecológica como medio de cocción de alimentos.

Las familias rurales en Chiapas adoptan el mismo modelo de fogón tradicional que la mayoría de la población en su comunidad posee. Esto se debe a diferentes factores tales como la experiencia en la construcción del dispositivo; la facilidad para conseguir los materiales y sobre todo por un modelo de aceptación.

#### **2.4.2 Estufas mejoradas o eficientes**

Este tipo de estufa se originó antes de 1950, cuando la estufa conocida como “Hyderabad Chula” se introdujo en la India, el cual era un modelo multihornillas, la cual era conocida como “estufa construida in situ” porque se construía en la cocina.

El uso de las estufas mejoradas beneficia principalmente a las mujeres y a quienes dentro del círculo familiar y social dependen de la leña, ya que una estufa mejorada permite a los usuarios obtener directamente los siguientes beneficios (Magallanes, 2006; Berrueta et al, 2007; Johnson et al., 2007):



- Ahorro de combustible (del 30-50 %) sobre las tecnologías tradicionales
- Disminuir la presión sobre los recursos forestales
- Mejorar la salud al reducir la exposición al humo y a las quemaduras con el fuego directo.
- Reducir el esfuerzo al aligerar la carga de trabajo que representa el acarreo de leña de las mujeres y los niños.

### 2.4.3 Aspectos técnicos del diseño de estufas ahorradoras de leña

Los aspectos técnicos directamente relacionados con la eficiencia de la estufa, son la interacción de cinco factores:

- Eficiencia de la combustión, durante el proceso de combustión ocurre una reacción química que convierte la leña en energía calorífica
- Eficiencia de la transferencia de calor, este proceso comprende la parte de calor del fuego que llega hasta el recipiente

Ahora bien, se han aplicado múltiples tipos de estufas ahorradoras de leña en diferentes comunidades. Pese a tratarse de los mismos modelos, los resultados son variados debido a que:

- los diseños no se acoplan a todas las condiciones del lugar.
- no satisfacen las necesidades que se originan por las costumbres de las localidades donde se instalan.
- el sistema no es lo suficientemente eficiente para aprovechar el calor.

### 2.4.4 Análisis de modelos de estufas ahorradoras de leña

A continuación se propone una breve descripción de los diferentes modelos, el lugar de aplicación y sus resultados.

La Fundación Selva Negra (FSN), el grupo Mesófilo y SEDESOL construyeron estufas ahorradoras en el estado de Oaxaca, en los municipios de Santa María Tonameca y San Pedro Huamelula. Los materiales utilizados fueron cemento, cal, tabicón, ladrillos rojos, tubos de lámina galvanizada y capuchones del mismo material.

La estufa tipo que se adoptó fue el de 3 hornillas: 1 hornilla para el comal, 1 hornilla para la olla o cazuela del guiso y una hornilla más para la jarra de café o agua. Las dimensiones observadas en el pretil (base) fueron de forma generalizada: 1.40 m de longitud, por 80 cm de ancho x 60 cm de altura; la base para el metate fue de 70 cm longitud, por 70 cm de ancho, por 60 cm de altura. La estufa propiamente dicha mide 1.20 m de largo por 70 cm de ancho y 30 cm de alto.

Para garantizar el funcionamiento adecuado de la estufa, se le explicó a la localidad como encenderle la lumbre, sin omitir que se deben colocar antes el comal y las dos ollas para no dejar escapar el humo. Se señala que cada vez que vayan a utilizar el comal se calentará la olla. En caso de que no utilicen el comal pueden calentar la olla orientando la leña hacia la hornilla respectiva. De igual manera, si no utilizan la hornilla de la olla o no hay que cocer, pongan agua a hervir para su consumo. Lo cual no hace eficiente el sistema si solo desean utilizar una hornilla, ya que el gasto de leña y la pérdida de calor no están contemplados en el sistema para evitarse.

Este plan contempló recomendaciones de mantenimiento sobre como componer inmediatamente las grietas que se observen en la estufa, pegar los pedazos de ladrillos que se llegaran a romper, limpiar la chimenea si se regresa el humo. Las grietas se podrán resanar utilizando una mezcla de ceniza, cal y barro con agua, pero esto implica tiempo sin utilizar la estufa no solo para resanarla sino para que los materiales hayan secado.

El rubro faltante del proyecto es el registro de datos sobre la eficiencia de las estufas ahorradoras de leña, que permitiría determinar la disminución del volumen de madera utilizada con fines energéticos. En este aspecto, lo que se indica es la percepción de las beneficiarias que reconocen las ventajas que las estufas ahorradoras de leña aportan con relación a la reducción en los tiempos y esfuerzos físicos que dedican a su recolección, así como a lo que a presión sobre las áreas forestales se refiere por dicha actividad. Algunas opiniones que han expresado las beneficiarias es que el ahorro de leña se ubica hasta en un 50%.

La cooperativa AMBIO desarrollo el modelo Justa modificada la cual consiste en una plancha metálica con aros desmontables para la directa colocación de las ollas o comal al fuego. Mide aproximadamente 130 cm x 65 cm x 20 cm. Se construye de ladrillo rojo que es más resistente al calor y tiene una plancha metálica y tubos para sacar el humo fuera de la cocina.

La estufa se construye sobre una base que debe medir por lo menos unos 20 cm. más de un lado y al frente de la estufa. Es decir 150 cm. de largo por 85 cm. de ancho para que quede espacio para poner cosas y para que enfrente no se caiga la leña. La base se puede construir de muchas formas, depende del gusto familiar y del presupuesto disponible. Puede ser de block, piedra, ladrillo, madera, o cemento y estar rellena con tierra, o tener forma de mesa con un espacio por debajo donde se puede meter leña y guardar otras cosas. Como se puede apreciar en la descripción realizada anteriormente, las estufas y su base ocupan un lugar bastante amplio dentro de la vivienda, además de que por lo general a las comunidades se les entrega la estufa, son los habitantes beneficiados los que deben conseguir recursos para la elaboración de las bases.

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.

## **2.5 Metodología empleada en la implementación y aceptación de tecnologías**

Muchas veces al implementarse tecnologías en comunidades rurales e indígenas estas no son aceptadas o se vuelven obsoletas con el tiempo. Para evitar este problema y que las estufas ahorradoras de leña sean aceptadas y aprovechadas por la comunidad, la organización civil Red Chiapas trabajo previamente con la comunidad un sistema organizativo para lograr que fuera la propia comunidad quien se diera cuenta de sus necesidades y de lo que necesitaba para solventarlos.

Dicho sistema se llama se llama Método Comunitario (MeCom), y se encuentra en el manual titulado Metodología Comunitaria para el Desarrollo Social, elaborado por Kniffki y Calero (2010). En el proponen la aplicación de diversos instrumentos y entrenamiento en el pensamiento metodológico en los diversos programas y proyectos institucionales, los cuales deben resultar en un proceso de reflexión teórica e implementación práctica y viceversa.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1 Criterios de elección de la comunidad

Para seleccionar la comunidad donde se llevaría a cabo la implementación de las estufas ahorradoras de leña, fue necesario el análisis de las condiciones de diferentes comunidades rurales que se tienen en el estado de Chiapas.

La primera condicionante fue que al menos el 90 por ciento de la población empleara el fogón tradicional. Una parte importante de este estudio es la comparación de diversos aspectos del dispositivo desarrollado contra el fogón, por lo cual una comunidad donde algún tipo de estufa ecológica estuviese implementada de forma masiva no era útil para los fines de estudio.

Así mismo un factor importante fue la aceptación de un problema de la comunidad y el deseo de solucionarlo, pues no todas las poblaciones aceptan la introducción de un nuevo dispositivo, y otras aunque lo acepten, no reconocen los diversos problemas que la forma de uso tradicional de la leña conlleva.

La disposición de los habitantes para apoyar y respetar el trabajo del investigador de campo para cubrir todo el cronograma de trabajo, pues era necesario interrumpir durante un lapso corto de tiempo en la vida cotidiana de la población para solicitarles y recibir información además de evaluar diferentes parámetros.

Se realizaron análisis del comportamiento interno de la comunidad para saber si se trataba de una población conflictiva. Una vez que se tuvieron los datos de cada comunidad se procedió a la elección de la más apta para la realización de este trabajo de investigación.

### 3.2 Descripción del área de estudio

La comunidad de Tierra Blanca se localiza en el municipio de La Independencia, estado de Chiapas. El municipio se localiza en los límites del Altiplano Central y de las Montañas del Oriente, siendo montañosa la mitad de su territorio. Sus coordenadas geográficas son 16° 15' N y 92° 02' W, su altitud es de 1,550 msnm. Sus límites son; al norte y este con el municipio de las Margaritas, al sur con la República de Guatemala y con el municipio de La Trinitaria y al oeste con Comitán de Domínguez (INEGI, 2000).

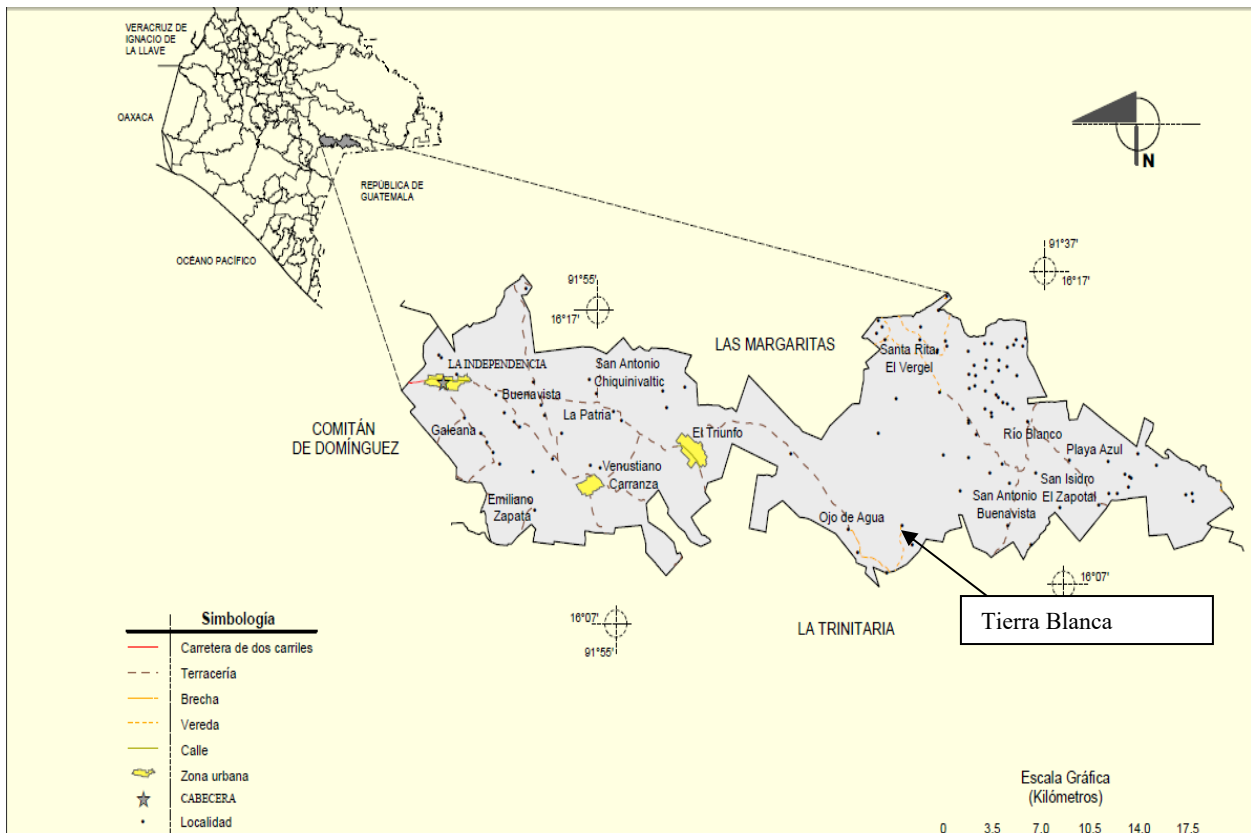


Fig. 3.1 ubicación de la comunidad de Tierra Blanca.

Tiene una extensión territorial de 1,704.10 km<sup>2</sup> que representa el 13.32% de la superficie de la región Fronteriza y el 2.25% de la superficie estatal. La superficie del municipio tiene 25.43 km<sup>2</sup> de bosque y 0.27 km<sup>2</sup> de selva (INEGI 2005). El plano

poligonal de la comunidad de Tierra Blanca muestra que ésta cuenta con una superficie de 600 hectáreas, de las cuales 250 están destinadas originalmente a conservación, 300 hectáreas son para cultivos y 50 hectáreas para la ubicación de viviendas y áreas comunes.

La parte poniente del municipio se caracteriza por ser una sucesión de llanuras que se alternan con lomerío y que forman parte del altiplano central, el este está conformado por terrenos accidentados que representan la transición hacia las montañas del oriente (INEGI, 2000).

El clima predominante es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual en la cabecera municipal es 21 °C con una precipitación pluvial de 1,000 milímetros anuales (INEGI, 2005).

El municipio está constituido geológicamente por terrenos del cretácico inferior y cuaternario, los tipos de suelo predominantes son: livisol, litosol y regosol, su principal uso es agrícola, pecuario, bosque y lago de selva correspondiendo la cuarta parte del territorio a terrenos ejidales y el resto a terrenos de propiedad privada, comunal y nacional (INEGI, 2000).

Según las encuestas realizadas al comisariado ejidal y profesores de la comunidad se recabaron los siguientes datos: La población total de la comunidad de Tierra Blanca es de 516 habitantes, que representa 1.25% de la población municipal; el 41.86 % son hombres y 58.14 % mujeres. Su estructura es predominantemente joven, 70% de sus habitantes son menores de 30 años y la edad mediana es de 23 años. En el período comprendido de 1990 al 2000, se registró una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) del 1.80%, el indicador en el ámbito regional y estatal fue de 1.62% y 2.06%, respectivamente.

En encuestas realizadas en la comunidad se obtuvieron los siguientes datos sobre las actividades económicas del lugar: la Población Económicamente Activa (PEA) está compuesta por 114 habitantes, lo que representa el 22.1 % de la población; el

94.73 % de la PEA se dedica a la agricultura, teniendo como principales cultivo el maíz, frijol, y el café, otros productos que se cultivan y comercializan son chayote, papa y plátano; y el 5.27 % se dedica a actividades de servicios.

Entre los datos recabados se observó que para el año 2011, la comunidad presentó un índice de analfabetismo del 31.55, lo que implica que 118 personas en su mayoría de mas de 45 años no saben y generalmente no tendrán los medios para aprender a leer.

Las principales enfermedades son de tipo respiratorio siendo las mas comunes tos y resfriado común, entre las más complejas se presentan enfermedades pulmonares crónicas sobre todo en mujeres mayores de 28 años. Dentro de la comunidad se cuenta con lo que ellos denominan “casa de salud”, la cual es una habitación de concreto, donde se encuentran una camilla, un lavabo y un cajón para los medicamentos básicos y precarios a los cuales tienen acceso. Quien a tiende este servicio es el agente de salud que es capacitado cada cuatro meses en el hospital regional de Comitán.

Para la representación externa y organización de la comunidad esta cuenta con tres representantes avalados por autoridades municipales que son el comisariado ejidal, tesorero y agente municipal; para los problemas específicos y comunes a todos los habitantes se han creado diversos comités, estos son: comité de energía eléctrica, comité de agua, comité de salud, comité escolar para primaria, comité escolar para preescolar y comité del campo.

La vegetación de la comunidad es exuberante, compuesta principalmente por selva alta perennifolia, gran variedad de epifitas, arboles frutales y plantas de ornato. La fauna es típica de la región selva, allí se encuentran diversas especies como tepezcuintle, mono araña, nauyaca, ocotero y zorrillo.

### 3.3 Construcción de la estufa

La búsqueda de los materiales adecuados para la construcción de la estufa esta determinada por las características que se desean para el prototipo de estufa ahorradora de leña (alta durabilidad, estética, eficiencia en el consumo y facilidad para transportar). Se analizaran a los diferentes proveedores que pudieran suministrar los materiales necesarios, que cumplan con las características de alta calidad y bajo costo especificados en el diseño.

Se construirán las partes básicas en un taller previamente seleccionado para tal efecto, con la participación de los integrantes del grupo de trabajo, así como de algunos integrantes de la comunidad, lo cual constituirá parte de su preparación para que sean encargados del mantenimiento y reparación de estos dispositivos. Es importante señalar que el proceso de ensamble de las estufas se realizará en la comunidad con la participación de los miembros de la misma, esto es parte del proceso de apropiación, sustentabilidad tecnológica e independencia que se pretende lograr a mediano y largo plazo con esta comunidad.

Para que el prototipo de estufa obtenido cumpla con los requerimientos de eficiencia y grado de aceptación social deseables, se realizó un modelo en un programa de diseño llamado Solid Word.

La altura del piso hasta la superficie del comal será de 0.90 m, determinado por la altura promedio de la mujeres de la comunidad, con la facilidad de que esta puede cambiarse para casos muy específicos. Se seleccionó madera para el recubrimiento exterior y las bases de la estufa no solo para garantizar un aislante térmico de alta eficiencia sino también por tratarse de un elemento abundante y típico al emplearse en la construcción de los fogones tradicionales tipo cajón, lo que facilitará el proceso de apropiación de la tecnología.

La forma compacta y móvil permite su ubicación en cualquier parte de la habitación e incluso su traslado en caso de construirse una nueva cocina como ha ocurrido luego



de la implementación de esta tecnología donde varias casas han decidido la construcción de una nueva cocina, debido a las malas condiciones creadas por el uso de fogones tradicionales en los techos, paredes utensilios, etc.

Se optó por un diseño circular para permitir que las familias se puedan ubicar alrededor de la estufa, tanto para ingerir sus alimentos como para realizar actividades sociales, disfrutando de una temperatura agradable creada por la radiación térmica. A partir de este diseño se establecieron los con los que se elaboraran cada una de los elementos (cámara de combustión, sistemas aislantes y de protección, entrada y salida de gases y base de la estufa) que integran el dispositivo.

La cámara de combustión es el elemento fundamental de la estufa Lekil Vaj, la misma estará compuesta básicamente por un rin de camión de carga, el comal y la entrada y salida de oxígeno y gases de combustión respectivamente; es altamente resistente a la degradación por temperatura, cualidad que es muy conveniente para la función que realizará.

El comal de forma circular con dimensiones 0.66 m de diámetro y 0.003 m de espesor será de lámina de acero con alto contenido de hierro. Tendrá soldado a su alrededor de forma perpendicular una cintilla metálica (solera) de 0.03 m de ancho, 0.66 m de largo y 0.003 m de grosor, para realizar dos funciones fundamentales: evitar el hundimiento de la parte central del comal debido a la dilatación térmica durante el proceso de cocción de alimentos y al mismo tiempo impide la salida de los gases de combustión entre la interfaz rin-comal.

Es importante señalar que para el caso de estudio a escala de prototipo, no solo será diseñado un comal de superficie plana, sino también un comal con superficie envolvente, este consistirá en un orificio de un diámetro de 0.25 m realizado sobre la superficie del comal plano, al cual se le soldará un tubo de hierro en la parte inferior, cuyas dimensiones son 0.004 m de espesor, 0.2 m de largo y sellado en la

parte inferior. Este concepto constituye una de las innovaciones fundamentales de la estufa, ya que a diferencia del comal plano permite que los recipientes introducidos dentro del mismo reciban calor no solo por la parte inferior sino también por su superficie lateral, implicando un menor tiempo de cocción y su respectivo ahorro de leña.

Para la entrada del oxígeno y salida de los gases de combustión se realizarán dos orificios alineados, uno de 0.15 m de diámetro, en la parte lateral inferior del rin y otro de 0.10 m de diámetro a una distancia de 0.02 m del borde del comal.

Para el primero se cortará un tubo de hierro de 0.15 m de diámetro, 0.25 m de largo y calibre 30 de grosor. Este le será soldado a la cámara de combustión, dicho tubo además de permitir la entrada de aire sirva como base o soporte para la colocación de la leña al interior de la cámara. En el segundo orificio se soldará un tubo de hierro de 0.10 m de diámetro, 0.11 m de largo, y 0.04 m de espesor, que además de permitir la extracción de los gases generados durante la combustión de la leña, también servirá de base para la colocación de la chimenea.

En la parte inferior de la cámara de combustión se soldarán tres tubos de hierro de 0.10 m de diámetro, 0.15 m de largo y calibre 30, colocados a 120° uno de otro con la finalidad de distribuir el peso de la estufa de manera uniforme y con ello evitar posibles accidentes. Los tubos servirán para colocar los postes de madera que se emplearán de base de la estufa.

El sistema de aislante constará de fases: un aislante interno compuesto por barro (puede variar en función de la zona edafológica) de un espesor de 0.10 m tanto en el fondo como en la superficie lateral de la cámara de combustión, y un aislante externo compuesto por madera típica de la región.

Los tablones para el sistema aislante serán previamente lijados para eliminar algunas imperfecciones en su estructura. Éstos se cortarán con ayuda de una sierra

para madera marca Ryobi, en tablas más pequeñas de las siguientes dimensiones 0.07 m de ancho, 0.30 m de largo y 0.03 m de espesor. Cada estufa necesitará de 35 tablas para poder cubrir la circunferencia completa de la estufa.

Las tablas se perforarán con ayuda de un taladro en la parte inferior y superior a una distancia de 0.05 m de los bordes de su ancho. El grosor de la perforación se consideró en base al tornillo que se usará para sujetarlas a la cintilla metálica de la cámara de combustión.

Las cintillas que se colocaran alrededor del rin serán perforadas con un taladro a una distancia de 0.07 m cada perforación, usando como guía las tablas perforadas para poder colocarlas después ya que servirán de aislante y para darle la forma circular a la estufa que se planteó al inicio del trabajo. Cada tabla se unirá a la cintilla metálica mediante dos tornillos y dos tuercas colocados en ambos extremos de la tabla.

Una vez que se hayan colocado todas las tablas del sistema de aislante, procederemos a colocar un tramo de lámina galvanizada de 0.558 m de diámetro en el fondo de la cámara de combustión y luego se colocará una capa de 0.10 de espesor de barro sobre la lámina. Se le colocarán tres postes de madera de dimensiones de 0.10 m de diámetro y 0.60 de largo, estas funcionaran como base de la estufa.

### **3.4 Selección de parámetros a evaluar**

En la determinación de parámetros a medir se tomaron en cuenta dos factores principales: la salud de las mujeres que son quienes cocinan y la eficiencia de la estufa como factor altamente determinante (RETA, 2004).

Para evaluar la salud de las mujeres se medirán los niveles de emisión de contaminantes, monóxido y dióxido de Carbono que se emiten al cocinar con los fogones típicos de la comunidad de Tierra Blanca, también se medirán la temperatura y nivel de humedad relativa en el espacio mencionado.

Para medir los niveles de monóxido y dióxido de carbono, temperatura y humedad relativa en la vivienda se realizaran evaluaciones a cada 0.5 m de distancia a partir de la ubicación del fogón, estos niveles también se medirán en el ambiente.

Además se medirá el desempeño térmico de las estufas en función de dos parámetros: a) el tiempo de cocción de los alimentos que se consumen con mayor frecuencia y una prueba con agua.

La prueba de agua consistirá en tres fases: 1) hervir agua desde un punto de inicio frío y tiempo de cocción del alimento del mismo modo; 2) hervir agua cuando la estufa está caliente y el tiempo de cocción del alimento; y 3) mantener el agua caliente a fuego lento. La prueba es una versión de la revisión de la Universidad de California y de la Fundación Shell de la Prueba de Ebullición de Agua de la Norma Internacional de VITA de 1985. Y; b) la cantidad de leña que en esto (la cocción) se emplea.

La evaluación de la cocción de un alimento típico (frijol negro) se llevará a cabo bajo dos condiciones: a) al mismo tiempo que se inicia la combustión de la leña dentro de la cámara de la estufa y b) cuando la estufa alcanza una temperatura de 200 °C.

También se realizará una prueba de cocción de un alimento típico (frijol negro) al mismo tiempo que se inicia la combustión de la leña dentro de la cámara de la estufa utilizando dos tipo de comales con propiedades diferentes, el primero en un comal de superficie plana y el segundo un comal de superficie envolvente.

Por otro lado una vez instaladas las estufas ahorradoras de leña, se realizaron medidas de temperatura, humedad relativa, monóxido y dióxido de Carbono registradas en diversos puntos de la cocina cuando las persona se encuentran preparando sus alimentos para determinar la eficiencia de la estufa.

### 3.5 Características de los equipos empleados en la medición de los diferentes parámetros

Para la determinación de la concentración de CO, CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa dentro de las cocinas de las viviendas se realizaron mediciones a diferentes distancias (0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0) tomando como el punto de origen el fogón y a una altura de 1.40 m desde el piso.

Para la medición de CO se utilizó un medidor de Monóxido de Carbono con las siguientes características generales:

- Dígito 3 1/2 Super Largo (contador 1999) multifunción vídeo inverso LCD
- Tamaño de bolsillo y fácil de usar
- Prueba Rápida Max Asimiento y Asimiento de Datos
- Corte de energía automático
- Arriba de 200 PPM, el beeper suena continuamente con la concentración de CO
- Completo con batería de 9V
- Dimensiones: 160 x 56 x 40 mm
- Peso: 180 g

<b>Temperatura de operaciones</b>	desde 0 °C hasta +50 °C
<b>Temperatura de almacenaje</b>	desde -30 °C hasta +60 °C
<b>Humedad de operaciones</b>	Humedad relativa del 0-99 % (no condensada)
<b>Variedad de medida</b>	de 0 hasta 1000 PPM

<b>Resolución de medida</b>	1 PPM
<b>Exactitud</b>	5% o $\pm 10$ PPM
<b>Período de calentamiento</b>	< 2 segundos
<b>Batería</b>	9V, NEDA 1604 A o equivalente
<b>Corte de energía automático</b>	El medidor automáticamente se cierra después de 15 minutos de la inactividad
<b>Tipo de Sensor</b>	Estabilizado electroquímico de Gas específico (CO)
<b>Vida típica del sensor</b>	3 Años

Tabla 3.1. Especificaciones del equipo medidor de monóxido de carbono.

Para la determinación de CO<sub>2</sub> se utilizó un medidor de "Dióxido de Carbono" con las siguientes características:

- Rango de CO<sub>2</sub> = 0 ~ 6,000 ppm
- Pantalla LCD dividida en 3 partes (para CO<sub>2</sub>, %RH Humedad y Temperatura de Aire).
- Mantenimiento longitud de onda dual libre NDIR sensor infrarrojo de CO<sub>2</sub> (infrarrojo no dispersivo).
- Registro de datos manual o Continuo.
- Los datos capturados Máximo / Mínimo con el sello de Tiempo.
- Memoria de Datos y función de lectura.
- Configuración de Alarma y de tiempo
- Función de RS-232 y Software
- Función de demostración de fondo luminoso
- Simple y seguro de usar

<b>Rango de medición</b>	CO <sub>2</sub> : 0 ~ 6,000 ppm
	Temperatura: -20 °C ~ 60 °C (-4 °F ~ 140 °F)
	Humedad: 10% RH ~ 95% RH
<b>Resolución</b>	CO <sub>2</sub> : 1 ppm 0.1 °C / 0.1 °F / 0.1% RH
<b>Exactitud</b>	CO <sub>2</sub> : el $\pm 3$ % de la lectura o $\pm 50$ ppm, que es mayor.
	Temperatura: $\pm 0.5$ °C, $\pm 0.9$ °F
	Humedad: $\pm 3$ % RH (en 25 °C, 30 RH del 95 % ~) $\pm 5$ % RH (en 25 °C, 10 RH del 30 % ~)

<b>Tiempo de respuesta</b>	30 segundos	
<b>Capacidad Manual de Memoria de Datos</b>	99 juegos (lectura Directa de pantalla LCD)	
<b>Capacidad de Memoria Automática</b>	Aprox. 20,000 juegos	
<b>Condiciones de operación</b>	0 °C ~ 40 °C (32 °F ~ 104 °F) 10 ~ 80% RH	
<b>Fuente de alimentación</b>	6 pcs Batería Alcalina AAA	
<b>Duración de la pila</b>	Aprox. 3 horas. (Batería Alcalina)	
<b>Tamaño</b>	158(L) × 72(W) × 35(H)mm	
<b>Peso</b>	Aprox. 255 g	
<b>Accesorios</b>	Manual de Instrucción, Batería, Adaptador de corriente alterna (110V or 220V), CD de software Rom, Cable de RS-232 y maletín de Transporte.	

Tabla 3.2. Especificaciones del equipo medidor de dióxido de carbono, temperatura y humedad relativa.

Las evaluaciones se realizarán durante el tiempo de cocción de alimentos, en diferentes horarios del día, realizando tres mediciones para cada posición anteriormente señalada.



También se medirá la temperatura del comal, para ello se empleará un multímetro digital de gancho marca Steren modelo Mul-100 con rangos de temperatura de 0 a 750 ° C.

Fig. 3.2. Multímetro digital de gancho marca Steren modelo Mul-100

### 3.6 Construcción e implementación masiva de las estufas

Una vez determinada la eficiencia de la estufa en condiciones de laboratorio y aprobada por los miembros de la comunidad, se procederá a la construcción masiva de 60 estufas del mismo modo en que fue construido el prototipo. Cada una de ellas

será probada para corroborar que no existan problemas en su funcionamiento por defectos de fabricación.

Terminadas las estufas se trasladaran a la comunidad de Tierra Blanca para su entrega a las familias beneficiadas. El traslado se llevara a cabo en un camión de uso pesado, que es necesario debido a que el peso de cada estufa se calcula en 75 kg. Aprox. El camión se puede apreciar en la siguiente imagen.



Fig. 3.3 vehículo en el que se transportaran las estufas.

Al llegar a la comunidad se hablará con los pobladores acerca del uso y mantenimiento de las estufas, de la implementación casa por casa y de la importancia que tiene su papel en el desarrollo y buen funcionamiento de este tipo de tecnologías.

Como parte del modelo de trabajo denominado Método Comunitario (MeCom), la comunidad apoyará en todo el proceso que integre la implementación de las estufas. Colaboraran en la descarga, traslado y colocación de aislante. Una vez se termine el proceso de implementación se capacitará a un grupo de cuatro personas para poder hacer labores de mantenimiento en las estufas en caso de ser necesario por algún habitante.



## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los resultados más importantes del diagnóstico en la comunidad, diseño, construcción, implementación en la comunidad y evaluación del desempeño bajo condiciones reales de operación.

### 4.1 Diagnóstico de la comunidad

El diagnóstico de la comunidad permitió identificar los siguientes problemas relacionados con el uso de la leña para la cocción de alimentos:

1.- Daños a la salud. Los gases que se generan durante la combustión de la leña son inhalados por las personas que la habitan dañando seriamente la salud de las mismas.



Fig.4.1 Gases inhalados por los miembros de la familia. Comunidad Tierra Blanca. Foto Lorena Ramírez.

2.- Tala indiscriminada. La población utiliza grandes cantidades de leña, debido a que los fogones tradicionales son térmicamente ineficientes. Durante el proceso de tala no se realiza una cuidadosa selección del tipo y tamaño de árboles aptos para ser empleados como combustible. Los impactos negativos al ecosistema son visibles en las áreas circundantes.



Fig.4.2. Consumo ineficiente de leña y tala indiscriminada por el uso de fogones abiertos. Fotos. Neín Farrera.

3.- Afectación del sector más vulnerable de la población. Las mujeres y niñas por lo general realizan la difícil tarea de acarreo y seccionado de leña. Como promedio cargan 23 Kg de leña y recorren en promedio 2.5 km de distancia tres veces a la semana como mínimo.



Fig.4.3. Acarreo y seccionado de la leña por mujeres. Foto. Lorena del Rocío

4.- Contaminación interna dentro de los hogares. Los utensilios y vasijas empleados para cocinar, generalmente tienen una costra negra, resultado de la acumulación y adherencia de partículas, como el hollín, prácticamente imposible de eliminar después de un tiempo. De igual forma ocurre con el techo y paredes de la habitación como se muestra en la siguiente figura.



Fig.4.4. Contaminación interna en los hogares debido al humo. Fotos Lorena del Rocío.

Paralelamente, en las evaluaciones realizadas a los modelos de estufas ahorradoras de leña implementados en la comunidad, los resultados obtenidos demuestran que éstas no son sustentables. Éstas no cumplen con la eficiencia energética mínima, los diseños y materiales empleados permiten el escape de la mayor parte del calor generado dentro de la cámara de combustión; sufren deterioro rápidamente, dejan escapar los gases y partículas dentro de la habitación con sus ya conocidas consecuencias y tampoco han probado el ahorro de los porcentajes de leña que señalan algunos de sus impulsores.



Fig.4.5. Estufas “Ahorradoras” implementadas en varias comunidades de Chiapas

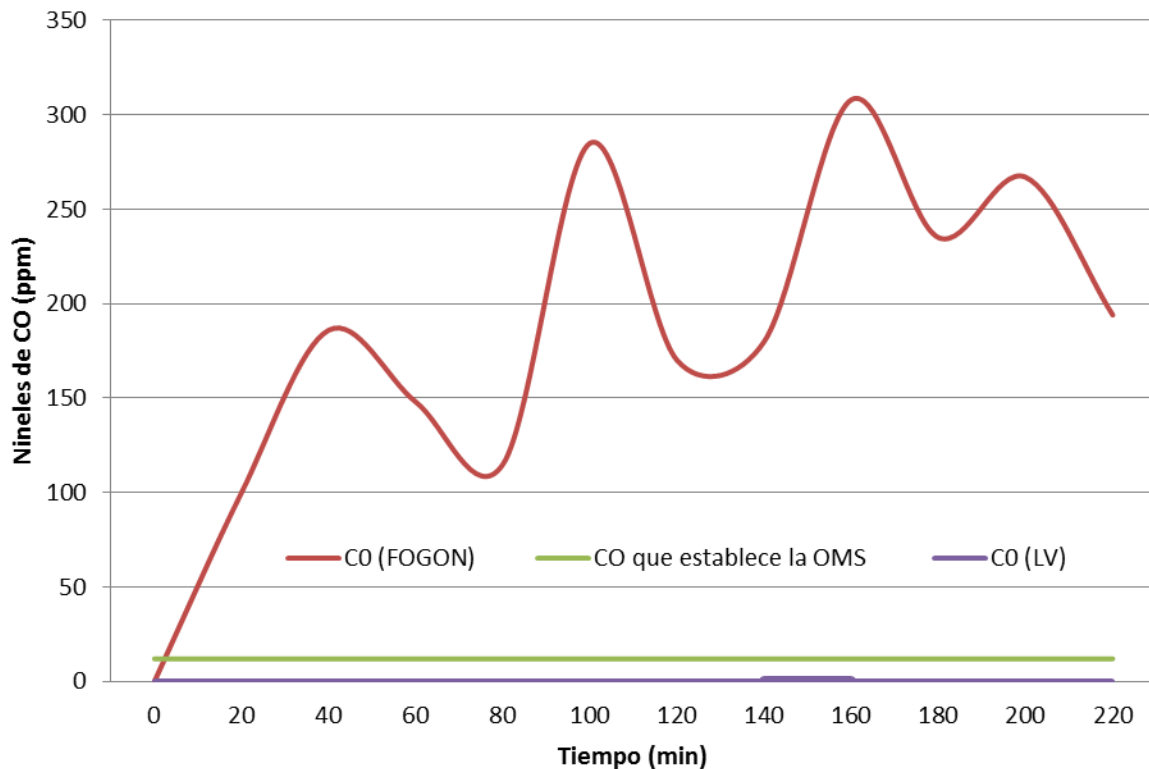
#### **4.1.1 Determinación de la concentración de CO, CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa dentro de las viviendas**

Durante este periodo de diagnóstico fue importante no solo conocer de primera mano las implicaciones del uso de la leña en fogones tradicionales para la cocción de alimentos, tales como contaminación interna, uso irracional de la leña, el difícil trabajo realizado por las mujeres durante el acarreo y seccionado de la leña, sino también se obtuvieron datos cuantitativos, especialmente de parámetros tales como CO, CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad relativa dentro de las viviendas, lo cuales como ya conocemos tienen una influencia directa sobre la salud de las personas, especialmente sobre niños y mujeres por permanecer mayor tiempo dentro de la vivienda.



Fig.4.6. Medición de la concentración de CO dentro de las viviendas. Comunidad Tierra Blanca, Chiapas.

Como se muestra en la gráfica 4.1 el nivel de concentración de CO al utilizar el fogón tradicional alcanza valores de hasta 308 ppm, con un valor promedio de 182.2 ppm, lo cual es aproximadamente 15 veces el nivel máximo de exposición que establece la Organización Mundial de la Salud para espacios cerrados que es de 12 ppm. Esto demuestra el alto nivel de riesgo para la salud al que constantemente están expuestas las personas que emplean estos tipos de fogones. Es importante señalar que el Monóxido de carbono es conocido como el asesino silencioso y mayor causante de cáncer pulmonar de las mujeres de las comunidades rurales de nuestro país.



Grafica 4.1 Comparación de los niveles de CO en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional

En cocinas con el techo plano y poca abertura en su paredes laterales superior como es el caso de la casa 1, la concentración de CO sobrepasan los niveles permitidos en más de 30 veces y en las entrevistas realizadas las señoras manifestaron sentir con frecuencia síntomas tales como fatiga, dolor de cabeza, náuseas y en algunas ocasiones pérdida de conciencia, esta situación claramente es producto de la falta de ventilación adecuada en la cocina.

La concentración de CO ( $C_{co}$ ) para una casa típica tiene un comportamiento potencial dado por la siguiente ecuación

$$C_{co} = C_m (d+1)^{-K}$$

donde  $C_m$  es la concentración máxima y que corresponde a la concentración de CO medida a un metro de altura sobre el fogón,  $d$  es la distancia medida desde el fogón

y  $K$  es un factor cuyo valor está en función de la arquitectura del techo y del grado de ventilación que tenga la cocina, por lo general las cocinas con techos a dos aguas presentan una menor concentración de CO y las mayores concentraciones se midieron para cocinas con techos planos, los cuales son más bajos y tienen menos circulación de aire, el signo negativo significa que la concentración de CO disminuye a medida que aumenta la distancia desde el fogón.

Es un dato interesante el que para distancias menores de 1 metro las concentraciones tienen un abrupto descenso, después ocurre un pequeño incremento y la concentración continua disminuyendo de forma menos pronunciada. Se observan dos posibles explicaciones para este comportamiento de los gases dentro de la habitación.

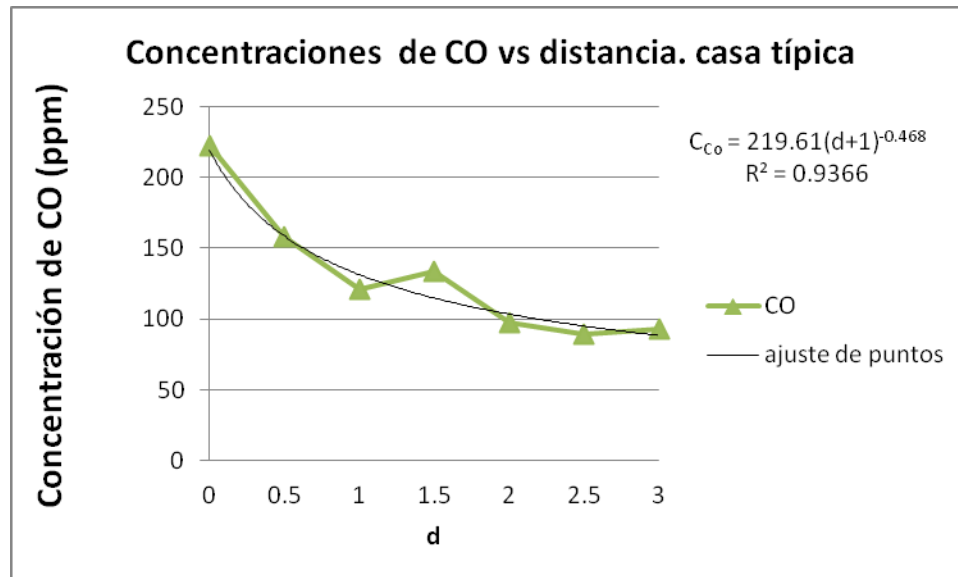
Este comportamiento puede deberse a que inicialmente la alta temperatura de los gases de combustión hace que estos se eleven rápidamente teniendo una acumulación en la parte superior de la cocina lo cual permite el enfriamiento y desplazamiento por el techo hacia distancias superiores a los 1.5 m hasta encontrar salida por los puntos de ventilación, provocando un espacio de vacío o de menor concentración de estos gases a distancias más cercanas al fogón, esto nos hace concluir que personas que se encuentren a distancias entre 0.5- 1m del fogón están menos expuestas a la incidencia del CO que aquellas que se encuentran entre 1-2m ya que están fuera del cajón de vacío.

Otra posible explicación es que producto del aumento de la temperatura en la cercanía del fogón el aire circundante y proveniente desde el exterior e inferior de la cocina tiende a calentarse y subir a medida que se aproxima al fogón, arrastrando consigo cualquier gas que se encuentre y por ende una disminución de la concentración de CO en espacios cercanos o distancias menores de 1m. Para el caso de una cocina típica de la comunidad de Tierra Blanca, construida de madera con techo de lámina a dos aguas con altura de 3-3.5m y ventilación lateral para salida

de gases cuyo comportamiento se muestra en la gráfica 4.2, la ecuación de concentración de CO está dada por

$$C_{CO} = 219.6 (d+1)^{-0.68}$$

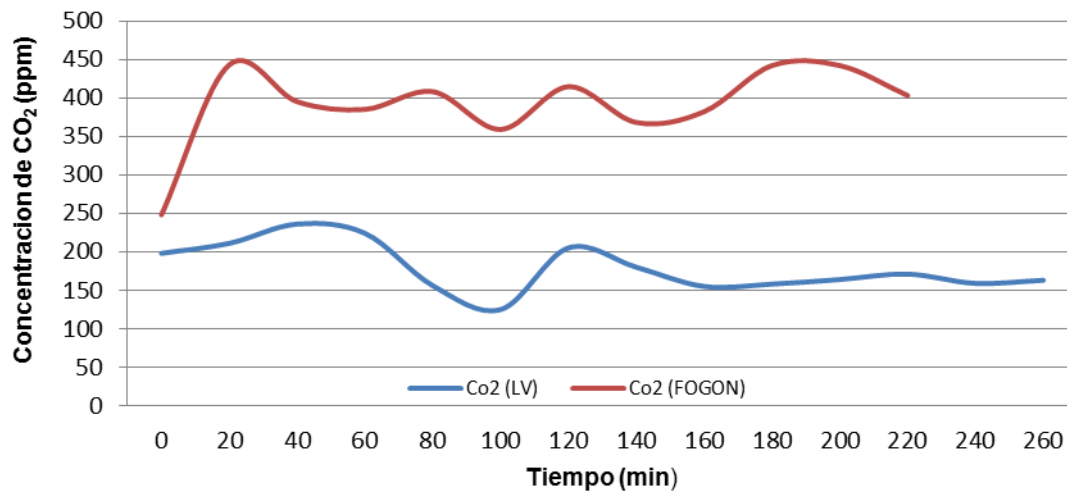
con un  $R^2$  de 0.936.



Grafica 4.2. Concentración de CO dentro de la cocina para diferentes distancias desde el fogón para una cocina típica.

Para obtención de los resultados de niveles de  $CO_2$  se utilizó el medidor de Dióxido de Carbono descrito en el capítulo 3 de éste trabajo, esta medición se realizó al igual que la de CO para la estufa ecológica Lekil Vaj y para el fogón tradicional, los resultados obtenidos los podemos observar en la siguiente gráfica.





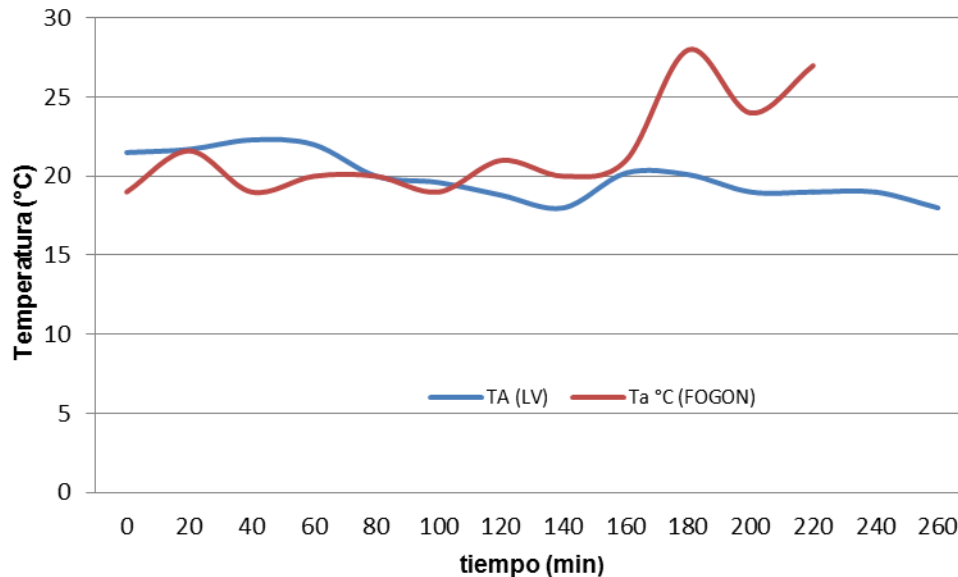
Grafica 4.3 Comparación de los niveles de CO<sub>2</sub> en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional.

Como se puede observar los niveles de concentración más altos de CO<sub>2</sub> para el caso del fogón tradicional son de 699 ppm el más alto con un valor promedio de 414.5 ppm en comparación con los obtenidos en la estufa ecológica Lekil Vaj donde el valor más alto es 236 ppm y el valor promedio es de 178.9 ppm, nuevamente obtuvimos datos mucho menores para la Lekil Vaj señalando así que está diseñada para cuidar la salud de las personas que la utilizan. Es importante señalar que las personas que están expuestas más de 8 horas diarias a la inhalación de estos gases tienen como consecuencia daños graves para su salud.

Es importante señalar que como muestra la figura 4.1 las personas, sobre todo las mujeres están expuestas durante más de 8 horas diarias a la inhalación de este tipo de gas, que como es sabido por diversos análisis realizados daña seriamente la salud humana.

Las mediciones de temperatura se realizaron en el interior de la cocina y como se puede observar en la Gráfica 3 cuando es utilizado el fogón tradicional la temperatura es superior en el interior de la habitación comparado con la estufa Lekil Vaj, este resultado es lógico pues la estufa ecológica tiene un sistema de protección térmica que permite la concentración del calor en su interior e impide el escape del

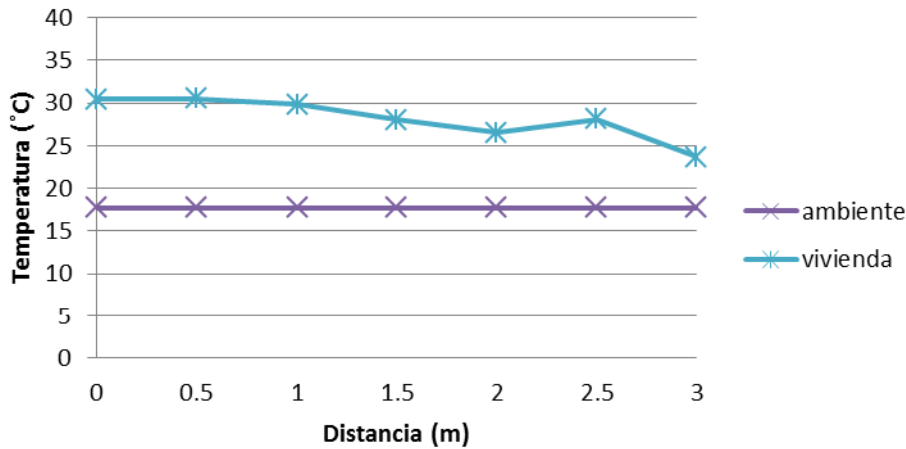
mismo, por el contrario el fogón tradicional es abierto dejando escapar todo el calor hacia los alrededores. El resultado anterior indica que el fogón tradicional seguirá siendo usado fundamentalmente en época de frío por parte de los usuarios para la calefacción. Los resultados de las temperaturas se muestran en la siguiente gráfica.



Grafica 4.4 Comparación de niveles de Temperatura ambiente en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional.

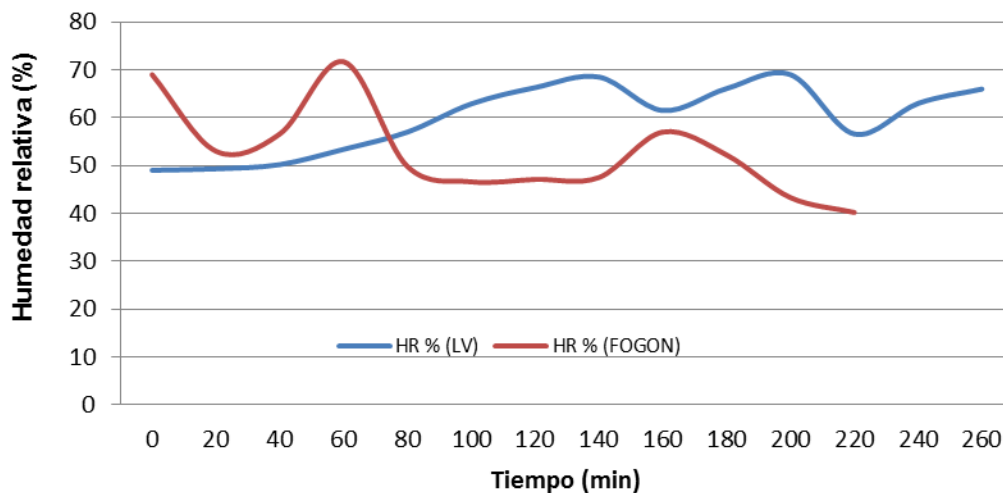
Ahora bien, las temperaturas registradas en las viviendas que emplean fogones tradicionales varían significativamente con las temperaturas ambiente registradas en la comunidad ya que a menos de 1.5 m del fogón se registran variaciones de hasta 8 grados en promedio, esto daña a las personas si se toma en cuenta que la mayoría entra y sale periódicamente de la cocina para realizar diferentes actividades. Estas variaciones se registran el siguiente gráfico:

## temperaturas registradas



Grafica 4.5 Temperatura registrada dentro de la vivienda y temperatura ambiente en cualquier punto fuera de la vivienda a partir de 1 m a la redonda de ésta.

Los resultados obtenidos de humedad relativa se muestran en la siguiente grafica los cuales varían en el uso de cada dispositivo. Como se puede observar los niveles de humedad relativa comienzan a aumentar a medida que aumenta la evaporación para el caso de la estufa Lekil Vaj y para el caso del fogón tradicional estos comienzan a disminuir. Este comportamiento aún se encuentra en análisis por parte de nuestro grupo de investigación.



Grafica 4.6 Comparación de niveles de Humedad Relativa en la estufa ecológica Lekil Vaj y el fogón tradicional

## 4.2 Diseño de la estufa

Para el diseño de la estufa se tuvo en cuenta que este dispositivo cumpliera los siguientes aspectos fundamentales:

- Tecnológicamente apropiada: altamente resistente a las condiciones de operación y que sus elementos fundamentales garantizaran una alta durabilidad.
- Económicamente viable: costo por debajo de las estufas existentes en el mercado y materiales asequibles a la población beneficiada.
- Ecológicamente responsable: eficiencia tal que al menos se ahorre un 70% de leña con respecto al fogón tradicionalmente utilizado.
- Socialmente aceptable: desde el punto de vista de su estética, dimensiones (altura y diámetro), capacidad de extracción del humo de la habitación y poca radiación térmica emitida hacia los laterales.

En función de lo anterior se diseñó la estufa mediante el uso de un sistema para diseño gráfico asistido por computadora “SolidWorks”. En las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran la vista isométrica de la parte posterior de la estufa, vista frontal en el que se pueden observar sus principales componentes externos y la vista en corte lateral de la estufa rural en la que se pueden observar sus principales componentes internos.

Unas de las características de diseño fundamentales de este dispositivo es que cada parte o componente se realiza por separado, lo cual permite además de su producción en serie, el traslado en grandes densidades por unidad de volumen hacia las comunidades, pues generalmente el acceso hacia las comunidades marginadas del estado es relativamente complejo, encareciendo en muchos de los casos el costo final de la estufa instalada.

Figura 4.7. Vista isométrica de la parte posterior de la estufa rural con cámara de combustión ahorradora de combustible.

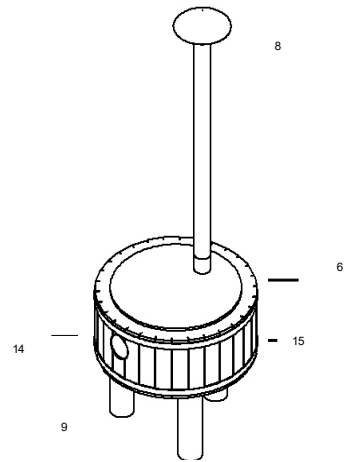
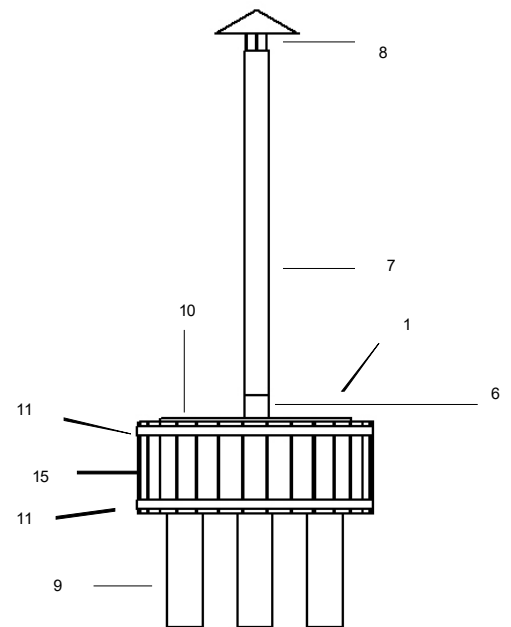


Figura 4.8. Vista frontal de la estufa rural con cámara de combustión ahorradora de combustible, en el que se pueden observar sus principales componentes.



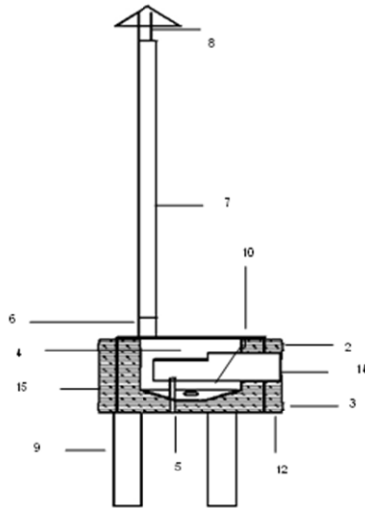


Figura 4.9. Vista en corte lateral de la estufa rural con cámara de combustión ahorradora de combustible, en el que se pueden observar sus principales componentes internos.

La cámara de combustión (1) y cuyo diseño se muestra en la Fig. 4.10 construida de un material metálico de alta durabilidad, la cual permite la combustión de la leña u otra biomasa sólida y mantener la energía calorífica que es utilizada por una superficie metálica horizontal (10) donde se realiza el proceso de cocción de alimentos, permitiendo la durabilidad y eficiencia al disminuir el consumo energético.

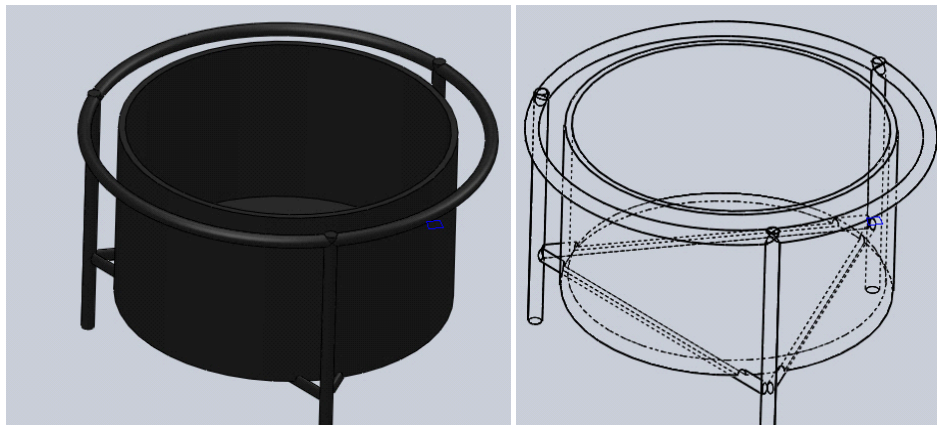


Figura 4.10. Vista isométrica de la cámara de combustión.

La cámara de combustión (1) está constituida de dos componentes metálicos cilíndricos huecos de alta resistencia al calor, un cilindro interior hueco (2)

colocado de forma horizontal que se utiliza para depósito de leña y donde se realiza la combustión y otro cilindro hueco de mayor diámetro (4) que contiene a este, y que es utilizado para mantener la temperatura calorífica y sobre el cual descansa la superficie plana de cocción (10) preferentemente circular, tradicionalmente conocido como comal y que en nuestro caso y como se muestra en la Figura 4.11 su diámetro está calculado para que simultáneamente se puedan colocar 15 tortillas de 15 cm de diámetro.

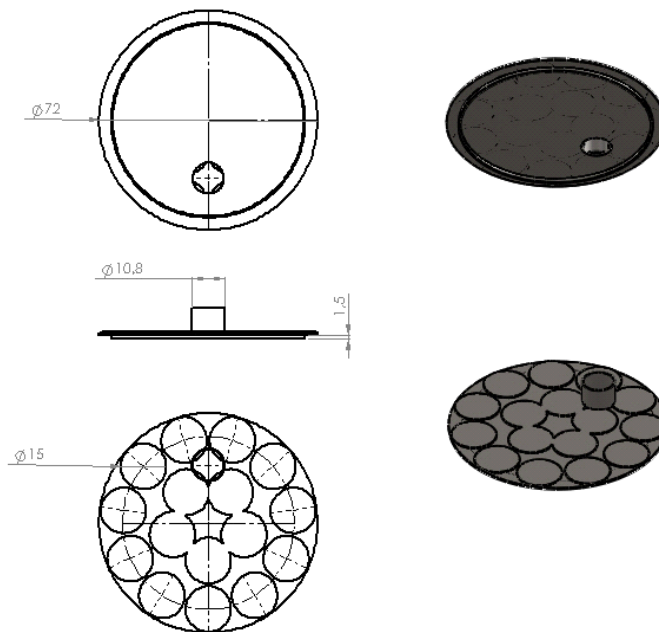


Figura 4.11. Vista superior e isométrica del Comal. Se puede observar la cantidad de tortillas que se puede cocer por tanda.

En la parte frontal se encuentra una ventana (14) que se conforma por el cilindro interior (2) extendido, como es apreciado en la figura 4. 7, por el cual se introduce la leña o el combustible en cuestión y un tubo metálico (5) colocado de forma perpendicular al cilindro interior (2) en la parte inferior de la cámara de combustión, el cual recibe aire desde el exterior, mejorando la combustión de la leña aumentando el poder calorífico.

Los gases generados son extraídos desde la cámara de combustión a través de un tubo metálico 6 adaptado a la superficie plana en su parte superior, estos gases son

conducidos hacia el exterior de la vivienda a través de una chimenea (7) que se conecta a dicho tubo, y en la parte superior cuenta con una tapa (8) que protege al dispositivo contra lluvia y polvo; esto permite la extracción de gases hacia el exterior evitando la inhalación de estos gases dentro de la vivienda.

Entre la pared cilíndrica metálica (4) de la cámara de combustión y la pared exterior (15) preferentemente de madera, para evitar accidentes de quemaduras a los usuarios, se coloca un aislante interior térmico (3) sujetado por abrazaderas (11). En el piso de la cámara de combustión se coloca un aislante térmico (12) que evita la pérdida de calor a través de las mismas, ver Figura 4.12.

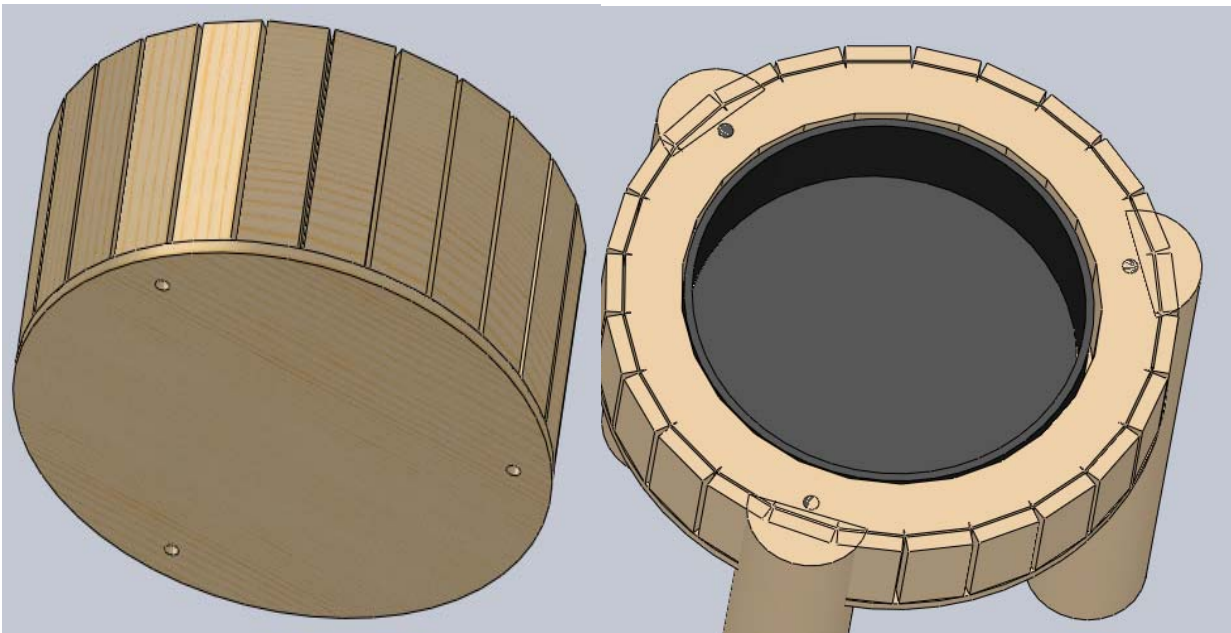


Figura 4.12. Vista isométrica de la cámara de combustión con el sistema de aislante.

Para lograr la perfecta redondez y la altura necesaria del aislante de madera fue necesario cortar la madera con las dimensiones y forma que se muestra en la Figura 4.13. Tanto la cámara de combustión y la chimenea, están soportados por una base (9) de tres elementos rígidos separados a  $120^\circ$  entre sí, estos elementos de madera tiene la altura necesaria para que la estufa en su



conjunto sea adecuada para que las mujeres realicen la labor de cocción de forma cómoda y segura.

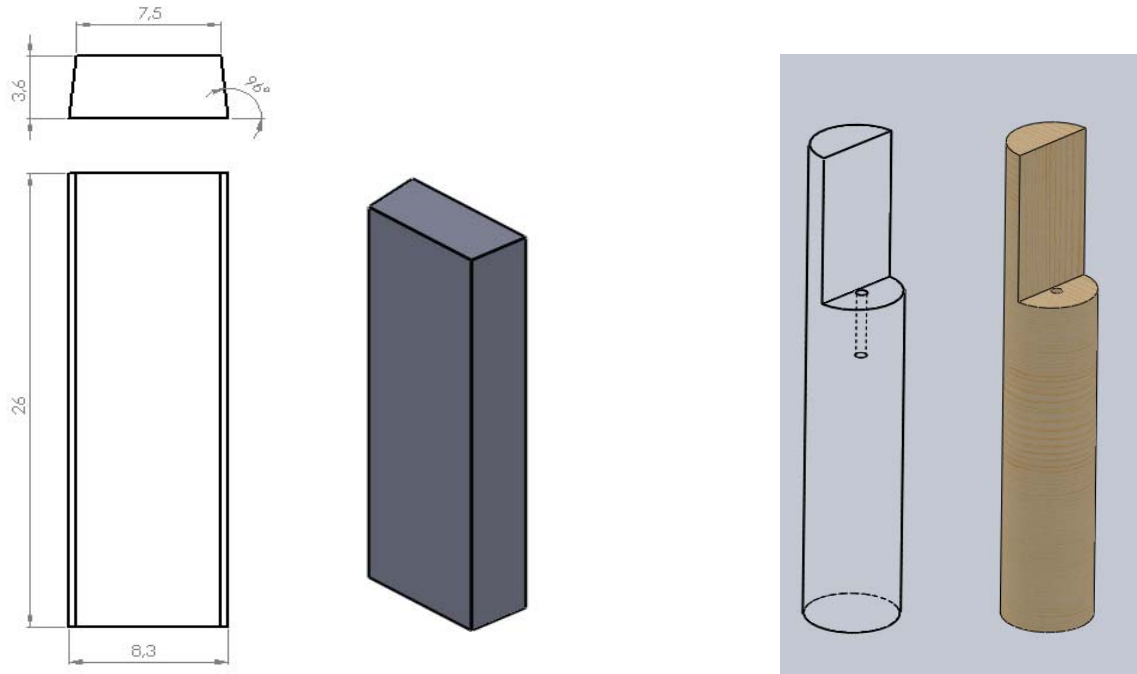


Figura 4.13 Vista isométrica de los lingotes de maderas utilizados para realizar el aislante lateral de la cámara de combustión así como los soportes o base de la estufa.

Finalmente la integración de todas las partes anteriormente mencionada dio como resultado una estufa que desde el punto de vista del diseño responde a los requerimientos propuestos, ver Figura 4.14. Como se puede observar en la Figura 4.11 el diámetro de la estufa (comal) se estableció teniendo en cuenta la cantidad promedio de habitantes por vivienda en la comunidad de Tierra Blanca. La altura del piso hasta la superficie del comal fue de 0.90 m, determinado por la altura promedio de la mujeres de la comunidad, con la facilidad de que esta puede cambiarse para casos muy específicos. La madera utilizada para el recubrimiento exterior y las bases de la estufa fue seleccionada no solo para garantizar un aislante térmico de alta eficiencia sino también por tratarse de un elemento abundante y típico al emplearse en la construcción de los fogones tradicionales tipo cajón, lo que facilitó el proceso de apropiación de la tecnología.

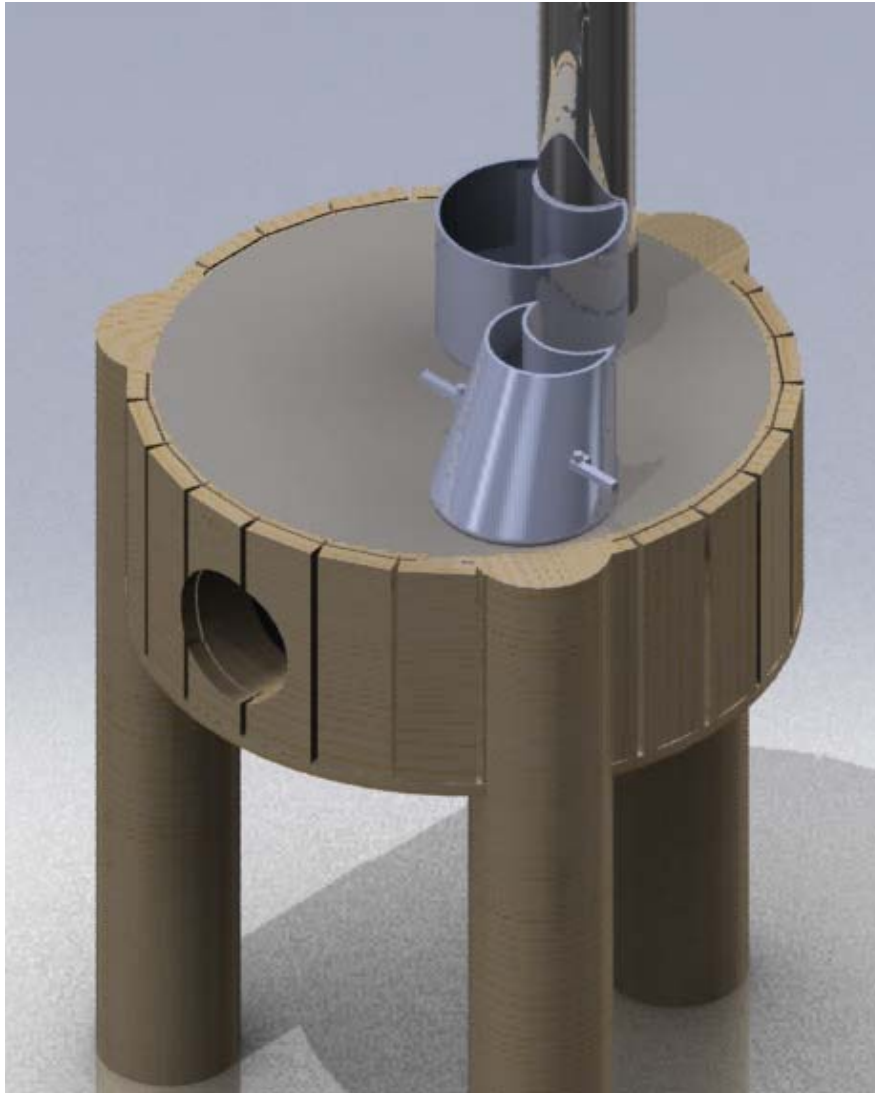


Figura 4.14. Vista isométrica de la integración de la estufa.

La forma compacta y móvil permite su ubicación en cualquier parte de la habitación e incluso su traslado en caso de construirse una nueva cocina como ha ocurrido luego de la implementación de esta tecnología donde varias casas han decidido la construcción de una nueva cocina, debido a las malas condiciones creadas por el uso de fogones tradicionales en los techos, paredes utensilios, etc.

Se optó por un diseño circular para permitir que las familias se puedan ubicar alrededor de la estufa, tanto para ingerir sus alimentos como para realizar

actividades sociales, disfrutando de una temperatura agradable creada por la radiación térmica.

### 4.3. Construcción de las estufas

Luego de seleccionar los materiales adecuados que cumplieran los parámetros de diseño alta durabilidad, estética, eficiencia en el consumo y facilidad para transportar las estufas se procedió a su construcción.

Se construyeron las partes básicas en un taller previamente seleccionado para tal efecto con la participación de los integrantes del grupo de trabajo, así como de algunos integrantes de la comunidad, lo cual constituirá parte de su preparación de los dos técnicos comunitarios se encargarían del mantenimiento y reparación futuros de estos dispositivos. Es importante señalar que el proceso de ensamble de las estufas se realizó en la comunidad con la participación de los miembros de la misma, esto fue parte del proceso de apropiación, sustentabilidad tecnológica e independencia que se pretendió lograr a mediano y largo plazo con esta comunidad.

A partir de este diseño se establecieron los materiales con que fueron elaborados cada una de los elementos (cámara de combustión, sistemas aislantes y de protección, entrada y salida de gases y base de la estufa) que integran el dispositivo.

La **cámara de combustión** es el elemento fundamental de la estufa Lekil Vaj, no solo porque es el más costoso, sino también porque en ella se lleva a cabo la función fundamental de este dispositivo que es el proceso de combustión de la leña, en el cual se genera la temperatura necesaria para la cocción de alimentos y otras aplicaciones. La misma está compuesta básicamente por un rin de camión de carga, el comal y la entrada y salida de oxígeno y gases de combustión respectivamente.

El rin de carga con dimensiones de 0.635 m de diámetro, 0.39 m de altura y 0.02 m de espesor, está constituido por hierro con alto nivel de carbono, lo que permite que sea altamente resistente a la degradación por temperatura, cualidad que es muy conveniente para la función que realiza. Este elemento al ya no ser útil en su aplicación originalmente diseñada, es acumulado en grandes cantidades en lugares de depósito y venta de materiales conocidos comúnmente como “deshuesaderos” ya que su reciclado implica el consumo de grandes cantidades de energía térmica.

El comal de forma circular con dimensiones 0.66 m de diámetro y 0.003 m de espesor es de lámina de acero con alto contenido de hierro. Tiene soldado a su alrededor de forma perpendicular una cintilla metálica (solera) de 0.03 m de ancho, 0.66 m de largo y 0.003 m de grosor, para realizar dos funciones fundamentales: evitar el hundimiento de la parte central del comal debido a la dilatación térmica durante el proceso de cocción de alimentos y al mismo tiempo impide la salida de los gases de combustión entre la interfaz rin-comal.

Es importante señalar que para el caso de estudio a escala de prototipo, no solo fue diseñado un comal de superficie plana, sino también un comal con superficie envolvente, este consistió en un orificio de un diámetro de 0.25 m realizado sobre la superficie del comal plano, al cual se le soldó un tubo de hierro en la parte inferior, cuyas dimensiones son 0.004 m de espesor, 0.2 m de largo y sellado en la parte inferior. Este concepto constituye una de las innovaciones fundamentales de la estufa, ya que a diferencia del comal plano permite que los recipientes introducidos dentro del mismo reciban calor no solo por la parte inferior sino también por su superficie lateral, implicando un menor tiempo de cocción y su respectivo ahorro de leña.

Para la entrada del oxígeno y salida de los gases de combustión se realizaron dos orificios alineados, uno de 0.15 m de diámetro, en la parte lateral inferior del rin y otro de 0.10 m de diámetro a una distancia de 0.02 m del borde del comal.



Para el primero se cortó un tubo de hierro de 0.15 m de diámetro, 0.25 m de largo y calibre 30 de grosor como se muestra en la imagen superior. El tubo quedó con bordes cortantes que fueron necesarios esmerilar como se muestra en la foto inferior. Este le fue soldado a la cámara de combustión, dicho tubo además de permitir la entrada de aire sirva como base o soporte para la colocación de la leña al

interior de la cámara. En el segundo orificio fue soldado un tubo de hierro de 0.10 m de diámetro, 0.11 m de largo, y 0.04 m de espesor, que además de permitir la extracción de los gases generados durante la combustión de la leña, también sirve de base para la colocación de la chimenea (ver 4.15)



Fig. 4.15. Construcción del tubo de entrada de la estufa Lekil Vaj. Corte y esmerilado. Fotos Neín Farrera.

En la parte inferior de la cámara de combustión se soldaron tres tubos de hierro de 0.10 m de diámetro, 0.15 m de largo y calibre 30, colocados a  $120^\circ$  uno de otro con la finalidad de distribuir el peso de la estufa de manera uniforme y con ello evitar posibles accidentes. Los tubos sirvieron para colocar los postes de madera que servirán de base de la estufa (ver Figura 4.16).



Fig. 4.16. Vistas de la cámara de combustión, a) Superior, b) Inferior

El sistema de aislante como su nombre lo indica, impide la salida del calor generado en la cámara de combustión hacia los lados y la parte inferior de la estufa,



permitiendo así que el mismo se concentre hacia el comal, donde se lleva a cabo la cocción de alimentos. Paralelamente este sistema permite a los usuarios trabajar en ella con cierto confort al no recibir incidencia térmica sobre su cuerpo, así como algún tipo de quemaduras por accidentes especialmente en niños.

Fig. 4.17. Colocación de aislante de barro

El sistema de aislante consta de fases: un aislante interno compuesto por barro o por piedra volcánica (puede variar en función de la zona edafológica) de un espesor de 0.10 m tanto en el fondo como en la superficie lateral de la cámara de combustión, y un aislante externo compuesto por madera típica de la región. La combinación de los dos aislantes se muestra en la Figura 4.17.



Los tablones que sirvieron para el sistema aislante fueron previamente lijados para eliminar algunas imperfecciones en su estructura como se muestra en las imágenes de la izquierda.

Éstos se cortaron con ayuda de una sierra para madera marca Ryobi, en tablas más pequeñas de las siguientes dimensiones 0.07 m de ancho, 0.30 m de largo y 0.03 m de espesor. Cada estufa necesito de 35 tablas para poder cubrir la circunferencia completa de la estufa.

Fig. 4.18. Lijado y corte de tablas para construir aislante exterior.

Se tomaron diversas medidas de seguridad durante, el trabajo tal como el uso de cubre bocas para impedir que el polvo producido por el devaste de la madera pudiera ser inhalado y causar problemas de salud.

Las tablas fueron perforadas con ayuda de un taladro en la parte inferior y superior a una distancia de 0.05 m de los bordes de su ancho. El grosor de la perforación se consideró en base al tornillo que se usaría para sujetarlas a la cintilla metálica de la cámara de combustión.



Fig.4.19. Perforación de tablas. Uso de tapaboca para evitar inhalación de partículas

Las cintillas colocadas alrededor del rin fueron perforadas con un taladro a una distancia de 0.07 m cada perforación, usando como guía las tablas perforadas para poder colocarlas después ya que servirán de aislante y para darle la forma circular a la estufa que se planteó al inicio del trabajo. Cada tabla se unió a la cintilla metálica mediante dos tornillos y sus respectivas tuercas colocados en ambos extremos de la tabla. Lo anterior puede apreciarse en la imagen de la derecha.



Fig. 4.20. Perforación de la cintilla y colocación de tablas para la función de aislante.

Una vez que se han colocado todas las tablas del sistema de aislante, procedimos a retirar el comal y colocar un tramo de lámina galvanizada de 0.558 m de diámetro en el fondo de la cámara de combustión, colocar una capa de 0.10 de espesor de barro sobre la lámina.



Sobre las pestañas metálicas de la parte inferior de la cámara de combustión se colocaron tramos seccionados de lámina para poner sobre ellos el barro que servirá como aislante.

Se le colocaron los tres postes de madera de dimensiones de 0.10 m de diámetro y 0.60 de largo, estas funcionaron como base. Se le instalaron los dos tramos de tubo de acero galvanizado que sirvieron como chimenea.

La estufa terminada lista para iniciar las pruebas de laboratorio se muestra en la Figura 4.21.



Fig. 4.21 Estufa terminada

#### 4.4 Implementación de la estufa en la comunidad de Tierra Blanca

Luego de la construcción de todas las estufas, estas fueron trasladadas a la comunidad de Tierra Blanca, para lo cual se utilizó como se muestra en la Figura 4.22 una camioneta 4 toneladas con las características adecuadas para tal fin. Cada estufa fue entregada a cada una de las familias beneficiadas (ver figura 4.22) y con la participación activa de toda la comunidad estas fueron trasladadas a cada una de las viviendas.



Fig. 4.22 traslado y entrega de las estufas en Tierra Blanca

Es importante señalar que debido al trabajo previo realizado con la comunidad se logró la unidad y colaboración necesaria para la participación de todos sus miembros, desde los más jóvenes hasta los más viejos, esto permitió que el traslado de las estufas y su implementación en cada vivienda fuera de forma ordenada y eficiente.

Las estufas aunque se llevaron por partes, fueron armadas y entregadas de forma pública a cada familia beneficiada, posteriormente con los técnicos comunitarios preparados previamente y otros voluntarios de la comunidad se procedió a la instalación.



Fig. 4.23 Participación de la comunidad durante el traslado e implementación de las estufas

Las familias beneficiadas obtuvieron el barro necesario para crear el aislante tanto en el fondo como en los lados de la cámara de combustión, como se observa en la figura 4.24 cada casa fue visitada para la colocación del aislante, es importante señalar que el barro fue compactado de forma tal que no quedaran espacio por donde ocurriera fugas de calor.



Fig.4.24. Preparación de las estufas en cada vivienda. Fotos Pascual López

Posterior a la implementación del aislante se colocó una cinta de acero galvanizado (ver fig.4.25) la cual tiene recubre el barro y permite una mejor estética a la estufa; por último se coloca el comal el cual entra ajustado para evitar salida de gases, se coloca la chimenea la cual sale al exterior a través de un orificio abierto en la parte superior del techo para tal efecto y la estufa está lista para comenzar con la cocción de alimentos.



Fig.4.25 Colocación del comal. Fotos Pascual López

Como se aprecia en las siguientes imágenes las estufas quedaron perfectamente implementadas en cada una de las viviendas, a las mismas se le realizaron las pruebas iniciales para detectar cualquier fuga de gases y para lograr un calentamiento previo el cual permite un curado inicial del barro.



Fig. 4.26. Estufas implementadas en las viviendas de Tierra Blanca

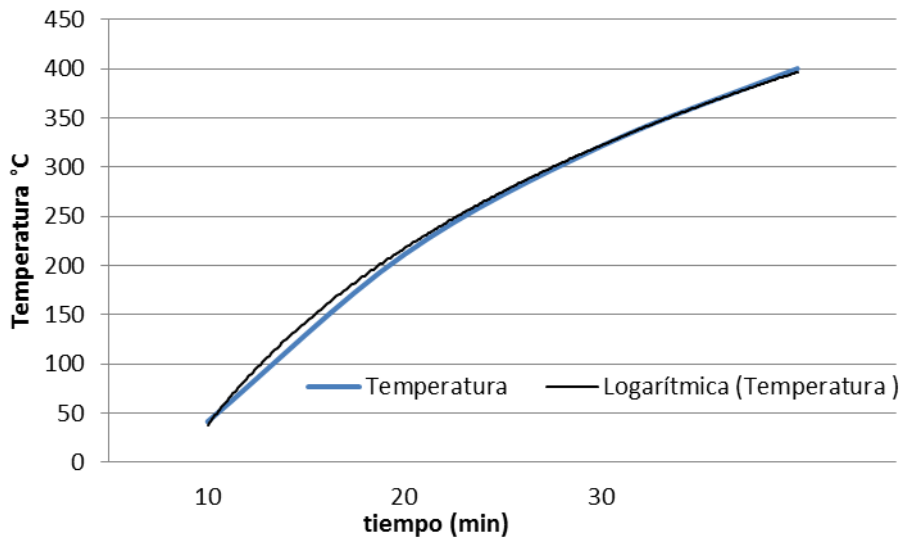
#### 4.5. Evaluación de la estufa

Para la prueba de medición de temperatura del comal se utilizó la cámara termográfica Flir E40 la cual se describió anteriormente se midió la temperatura en tres puntos del comal que son los dos extremos y el centro.

El comportamiento térmico en el comal de la estufa ecológica Lekil Vaj se divide en tres fases que son fase de calentamiento, fase de estabilización térmica y fase de enfriamiento en la gráfica 4.7 se muestra en comportamiento en la fase de calentamiento en la cual observamos que se comporta como logaritmo y del cual tenemos la siguiente ecuación

$$T = 258.44 \ln(t) + 37.9$$

Con un  $R^2 = 0.9991$



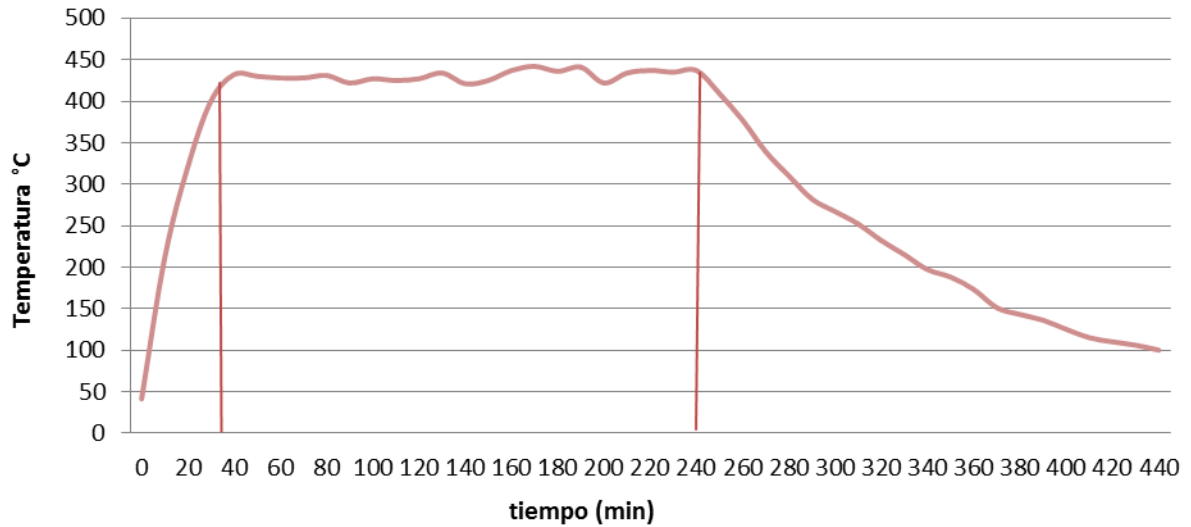
Grafica 4.7 comportamiento térmico de la estufa ecológica Lekil vaj en la fase de calentamiento

En la gráfica 4.8 y la figura 5, se muestra la temperatura alcanzada en el comal de la estufa ecológica Lekil Vaj durante el tiempo de cocción. Como se puede observar existen tres fases bien definidas. En la primera fase la temperatura se incrementa de forma logarítmica con respecto al tiempo, descrita por la ecuación

$$T = 258.44 \ln(t) + 37.9$$

donde  $T_c$  es la temperatura del comal dado en  $^{\circ}\text{C}$ , 258.44 es la pendiente térmica dado en  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ,  $t$  es el tiempo dado en horas (h). Como se puede observar la temperatura del comal alcanza los 300  $^{\circ}\text{C}$  a los 25 min y supera los 400  $^{\circ}\text{C}$  a los 40 min, estabilizándose a una temperatura promedio de 430 $^{\circ}\text{C}$  con valores extremos de 400 $^{\circ}\text{C}$  y 442  $^{\circ}\text{C}$ , las oscilaciones entre picos máximos ocurren debido al suministro de leña. Es importante señalar que a estas temperaturas superiores a 400  $^{\circ}\text{C}$  se hace muy complejo para las señoras realizar la cocción de las tortillas, en tal sentido solo es recomendado durante este periodo de temperaturas estables de la estufa

realizar la cocción de alimentos que necesiten mayor intensidad y tiempo de cocción como el frijol y el maíz.



Grafica 4.8 Comportamiento de la temperatura en el comal de la estufa ecológica Lekil Vaj

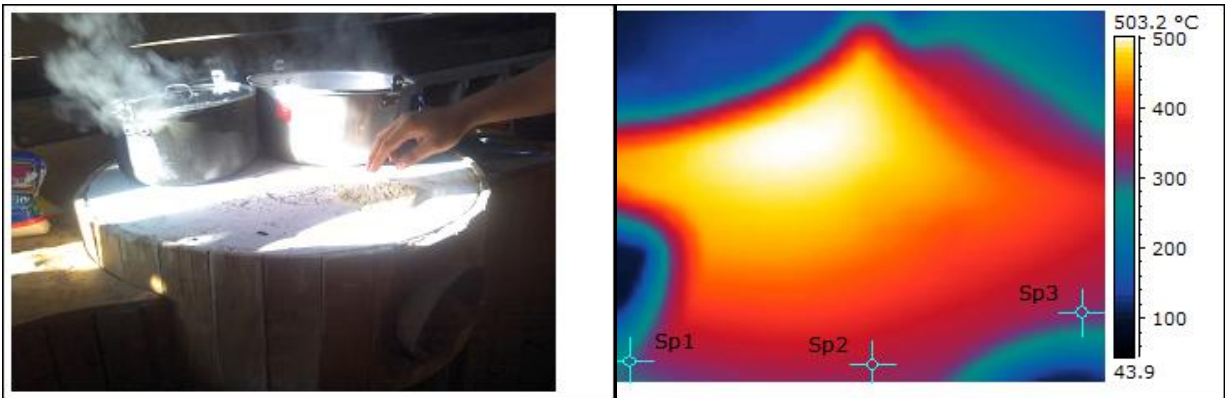
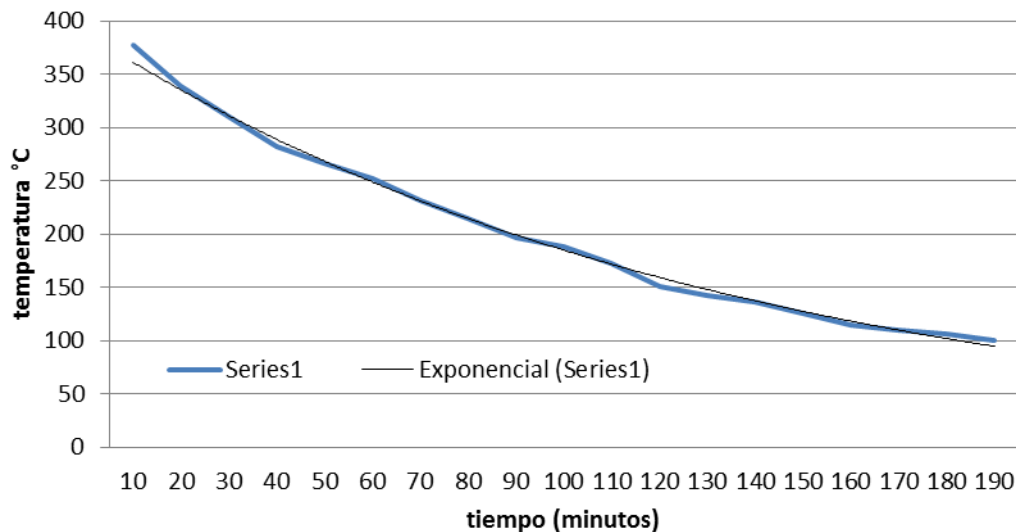


Fig.4.27 Comportamiento de la temperatura en el comal de la estufa ecológica Lekil Vaj

Durante el periodo de enfriamiento, es decir a partir de que ya no se suministre más leña a la estufa la temperatura del comal se comporta de forma lineal con pendiente negativa como se muestra en la gráfica 7, según la siguiente ecuación

$$T = 389.28e^{-0.074t} \quad (R^2 = 0.9959)$$

disminuyendo hasta los 100 °C en 200 minutos, lo cual indica que durante este proceso existe temperatura y tiempo necesario para realizar la preparación de otros tipos de alimentos tales como tortillas, sopas o para el hervido o calentamiento de agua.



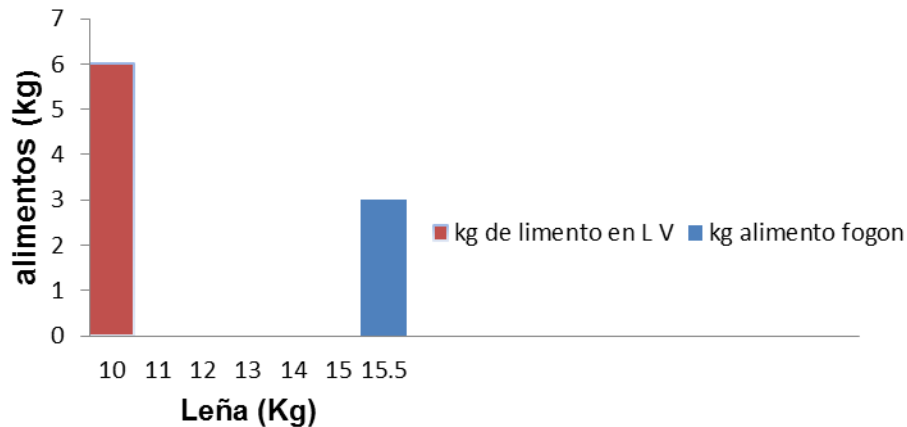
Grafica 4.9 Comportamiento de la temperatura en la fase de enfriamiento.

Las pruebas de cocción de alimentos y ahorro de leña se realizaron con Maíz y frijol negro como anteriormente se mencionó. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: en el fogón tradicional se coció 1 kg de frijol en una olla sin tapa, se midió la cantidad de leña empleada específicamente para este alimento y el tiempo (minutos necesarios); posteriormente se cocieron 2 kg de maíz, e igualmente se midieron los mismo parámetros que con el frijol. La duración de la cocción de estos dos alimentos duró 206 minutos y la leña utilizada fue de 15.5Kg.

En la estufa ecológica Lekil Vaj se realizaron varias pruebas de cocción de alimentos y se midieron tanto el tiempo como la cantidad de leña empleada durante el proceso de las pruebas. En este dispositivo se realizó la cocción de 2 kg de maíz y 1 kg de frijol negro en una olla sin tapa cada uno. Posteriormente se cocieron las mismas cantidades de frijol y maíz ahora la prueba fue en ollas con tapa, por último se

cocieron 2 kg de tortillas esto se realizó en un tiempo de 255 minutos utilizando un total de leña de 10 kg.

En la siguiente grafica se muestran los resultados obtenidos de cantidad de alimentos (kg de productos) y cantidad de leña utilizada.



Gráfica 4.10 Comparación de cantidad de alimentos cocidos y leña utilizada en cada dispositivo

Como se mencionó anteriormente y se puede observar en la gráfica, el rendimiento de la estufa ecológica Lekil Vaj es superior en el ahorro de leña, pues se utilizó como promedio 1.5 kg de leña por cada kg de alimento cocido, en comparación con el fogón tradicional que utilizó 5,2 kg de leña por cada kg de alimento cocido. Es decir que la estufa ecológica está ahorrando aproximadamente el 70% de leña comparada con el fogón tradicional. De igual forma el tiempo de cocción puede disminuir puesto que en la Lekil Vaj se pueden poner varias ollas y al mismo tiempo se puede estar cocinando las tortillas, ya que esto no se puede realizar en el fogón tradicional.

Es importante mencionar que para obtener un mejor tiempo en la cocción de alimentos en la estufa ecológica Lekil Vaj es recomendable utilizar las ollas con tapa. En la siguiente tabla se muestra el tiempo de cocción de los alimentos tradicionales con los que se hicieron las pruebas en las diferentes fases térmicas de la estufa.



	<b>Kg de producto</b>	<b>tiempo (min)</b>	<b>Fase térmica</b>
<b>maíz</b>	2	120	fase de calentamiento
<b>maíz</b>	2	50	fase de estabilización
<b>frijol</b>	1	150	fase de calentamiento
<b>frijol</b>	1	130	fase de estabilización
<b>Tortillas</b>	2	14	fase de enfriamiento

Tabla 4.1 Tiempo de cocción de los productos en las diferentes fases térmicas

Como podemos observar en la tabla anterior tomar en cuenta las fases térmicas de la estufa ecológica Lekil Vaj a la hora de cocer los alimentos permite administrar mejor el tiempo destinado a la cocción de alimentos y poder organizar cuando se realizaran otras labores domésticas, teniendo en cuenta que se puede cocinar los alimentos que mayor tiempo de cocción requieren y por último en la fase de enfriamiento preparar las tortillas, trae como resultado un ahorro importante de leña.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en la evaluación de la estufa fueron determinantes para las conclusiones respecto a la eficiencia del dispositivo y su nivel de aceptación dentro de la comunidad. Los objetivos del trabajo fueron satisfactoriamente cumplidos y con ellos se logró probar la hipótesis planteada para este trabajo.

Se construyó, evaluó e implemento de forma masiva las estufas ahorradoras de leña en la comunidad rural de Tierra Blanca. Su construcción empleó materiales de alta durabilidad que garantizan su resistencias a las condiciones de operación, necesitando mantenimiento en un plazo no menor a 5 años (al tratarse del remplazo del comal).

En la evaluación comparativa entre el fogón típico utilizado en la comunidad y la estufa ahorradora de leña demostraron que el ahorro de leña es sumamente considerable ya que se trata de porcentajes entre el 70 y 80 %. Cuando la estufa alcanza los 420 grados (después de 35 de iniciarse la combustión), la temperatura entra en una fase de “estabilidad térmica” fluctuando entre los 420 y 440 °C. Contar con diferentes fases térmicas facilita la cocción de diferentes tipos de alimentos. Al disminuir los tiempos de cocción de los alimentos (sobretudo el de las tortillas), las mujeres pueden emplear ese tiempo en otras actividades del hogar o en actividades sociales.

El haber tomado en cuenta la estética de la estufa y el diseño móvil tuvo un impacto muy positivo ya que varios de los habitantes cambiaron la cocina a una nueva habitación para ya no cocinar en la que las partículas solidas se habían adherido a las paredes.

Las mujeres encargadas de la casa que habían dejado de cocinar porque la inhalación de partículas y gases contenidos en el humo producto de la combustión de leña habían dañado severamente sus pulmones, pudieron volver a realizar esta actividad ya que ahora los gases y partículas salen a través de la chimenea.

De manera concreta se tienen los siguientes resultados de la estufa ahorradora de leña Lekil Vaj:

- Se desarrolló e implemento con éxito un nuevo modelo de estufa ahorradora de leña del modelo Lekil Vaj.
- El dispositivo presenta un ahorro mínimo del 70% de leña comparada con el uso del fogón tradicional;
- El modelo garantiza cero emisiones de monóxido de carbono dentro de la vivienda,
- Contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero al emplear una cantidad menor de leña;
- Elevada concentración de temperaturas en la superficie del comal (mayores a los 400°C) y amplio lapso de estabilidad;
- Capacidad de cocción simultánea debido al área del comal;
- Aceptación del modelo y apropiación de la tecnología por parte de los usuarios;
- Diseño ergonómico, económico, fácil de transportar y altamente durable.

Debido a que los propios habitantes de la comunidad tomaron conciencia sobre los problemas ambientales y sociales que el uso de fogones tradicionales traía, y entendieron que la solución era la implementación de estufas ahorradoras de leña, la apropiación de tecnología se dio de forma exitosa. Por ello se sugiere que cuando se trate de aplicar cualquier tecnología en comunidades tanto rurales como urbanas, se desarrollen métodos de introducción y de apropiación a largo plazo.

Para la obtención del aprovechamiento energético de la Leña y el desempeño térmico de la estufa se recomienda hacer el análisis del poder calorífico de cada tipo de madera empleada en la preparación de alimentos.

La innovación en las estufas ahorradoras de leña se debe trabajar de manera conjunta. Contemplando las necesidades y requerimientos de las comunidades en los procesos de cocción de alimentos, los conocimientos técnicos y científicos de los desarrolladores de tecnologías y los recursos naturales energéticos disponibles en la región de aplicación, se puede garantizar la implementación de una tecnología eficiente.