

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACION**

**PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA  
NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidámbar  
styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE LA FINCA CHILAX, SAN  
JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ**

**EDWIN AUGUSTO VILLAGRAN DIAZ**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA  
NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidámbar  
styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE LA FINCA CHILAX, SAN  
JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**EDWIN AUGUSTO VILLAGRAN DIAZ**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO**

**INGENIERO AGRONOMO EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ÁREA INTEGRADA**

**RECTOR**

LIC. CARLOS ESTUARDO GÁLVEZ BARRIOS

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO</b>	MSc. Francisco Javier Vásquez Vásquez
<b>VOCAL I</b>	Ing. Agr. Waldemar Núfio Reyes
<b>VOCAL II</b>	Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria
<b>VOCAL III</b>	MSc. Danilo Ernesto Dardón Ávila
<b>VOCAL IV</b>	P. For. Axel Esaú Cuma
<b>VOCAL V</b>	Br. Carlos Alberto Monterroso González
<b>SECRETARIO</b>	MSc. Edwin Enrique Cano Morales

Guatemala, Septiembre de 2009

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación “PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidámbar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE LA FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ”, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

Edwin Augusto Villagrán Díaz



## **ACTO QUE DEDICO**

### **A Dios Creador**

Todopoderoso que a través de su Espíritu Santo, derramó sus Dones sobre mi, e iluminó mi camino, con la intercesión de la Virgencita del Rosario.

### **A mi Esposa**

Lisette Mérida Oliva, que con amor siempre me ha impulsado a buscar mis sueños y anhelos más nobles.

### **A mis Hijas**

Perla Andrea, Margarita del Rocío, Krista Desiree y Mercedes del Rosario, motivo e inspiración de mis esfuerzos.

### **A mi Padre**

Salvador Augusto Villagrán Valladares, (Q.E.P.D.) como un homenaje póstumo a su memoria y sus sacrificios.

### **A mi Madre**

Elma Díaz Arreola, siempre me tiene en sus oraciones, para alcanzar mis metas.

### **A mis hermanos**

Gustavo, Giovanni, Elma y Anselmo, con amor fraternal.

### **A mis familiares**

En especial a mis tíos José Víctor Díaz, Gustavo Villagrán (Q.E.P.D.) y a mis primos Juan Francisco y Carlos de León, por su ayuda y consejos.

### **A mis amigos**

Especialmente a Arturo Paiz

### **A mis compañeros de estudio**

## TRABAJO DE GRADUACION QUE DEDICO

**A**

Mi Patria Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Los propietarios de CHILAX, S. A. y muy en especial al Dr. Fernando Quevedo Escobar y al Ing. Agr. José Tulio González Escamilla, por todo su apoyo y amistad.

Mi entrañable Xelajú.

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis más profundos y sinceros agradecimientos a todas aquellas personas familiares y amigos, que a lo largo de mi vida estudiantil, me animaron, apoyaron y ayudaron moral y materialmente, también en la fase final con el desarrollo de este trabajo de investigación, especialmente a las siguientes personas:

Ing. For. MSc. José Mario Saravia M. Por el aporte de sus conocimientos como asesor al desarrollo de este trabajo, cediendo su tiempo y experiencia en el campo forestal, proporcionando generosamente información y su biblioteca personal, dando siempre un trato de colegas.

Ing. Agr. Adalberto Rodríguez Por su apoyo como Supervisor-Asesor en el desarrollo del Ejercicio Profesional y por los aportes y enriquecimiento al presente documento, siendo siempre un amigo.

Ing. Agr. Marino Barrientos, por contribuir a mi formación profesional y trasmitirme los conocimientos para llegar a la interpretación y análisis estadístico.

Al personal administrativo y operativo de Finca Chilax en San Juan Chamelco, por su ayuda y colaboración oportuna en el manejo de la investigación, manejo de materiales y sistematización de procesos.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
INDICE DE CUADROS .....	IV
INDICE DE FIGURAS .....	V
RESUMEN .....	VII
CAPITULO I.....	1
DIAGNÓSTICO DE FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4 METODOLOGÍA Y RECURSOS.....	5
1.5 RESULTADOS .....	5
1.5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA FINCA.....	5
1.5.1.1 Descripción física.....	5
1.5.2 RECURSOS NATURALES .....	7
1.5.2.1 Tenencia y uso de la tierra.....	7
1.5.2.2 Hidrología.....	7
1.5.2.3 Tipo de suelos.....	8
1.5.2.4 Bosques naturales y plantaciones .....	8
1.5.3 ASPECTOS SOCIALES Y ADMINISTRATIVOS .....	10
1.5.4 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS.....	10
1.5.4.1 Actividades forestales .....	10
1.5.4.2 Actividades agrícolas.....	11
1.5.5 PROBLEMÁTICA IDENTIFICADA .....	11
1.5.5.1 Problemas del área de recursos naturales .....	12
1.5.6 PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS .....	14
1.5.7 POTENCIAL PRODUCTIVO Y OTRAS OPORTUNIDADES .....	15
1.6 CONCLUSIONES.....	17
1.7 RECOMENDACIONES .....	17
1.8 BIBLIOGRAFÍA.....	18
CAPITULO II.....	19

PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES <i>PINUS MAXIMINOII M.</i> , <i>LIQUIDAMBAR STYRACIFLUA L.</i> Y <i>QUERCUS BRACHISTACHYS B.</i> EN CONDICIONES DE FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ .....	19
RESUMEN .....	20
2.1 INTRODUCCIÓN .....	22
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	23
2.3 JUSTIFICACIÓN .....	25
2.4 MARCO TEÓRICO .....	26
2.4.1 MARCO CONCEPTUAL .....	26
2.4.1.1 Carbón vegetal .....	26
2.4.1.2 Proceso de carbonización .....	27
2.4.1.3 Propiedades del carbón vegetal .....	29
2.4.1.4 Productos y subproductos de la carbonización .....	31
2.4.1.5 Formas de fabricar carbón .....	33
2.4.2 MARCO REFERENCIAL .....	36
2.4.3 ESPECIES FORESTALES SELECCIONADAS .....	37
2.4.3.1 Pino .....	37
2.4.3.2 Liquidámbar .....	38
2.4.3.3 Roble o Encino .....	39
2.5 OBJETIVOS .....	41
2.5.1 OBJETIVO GENERAL .....	41
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	41
2.6 HIPÓTESIS .....	42
2.7 METODOLOGÍA .....	43
2.7.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	43
2.7.1.1 TRATAMIENTOS Y MATERIAL SELECCIONADO .....	43
2.7.1.2 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	43
2.7.1.3 UNIDAD MUESTRAL .....	44
2.7.1.4 MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	44
2.7.1.4.1 Construcción del horno .....	44
2.7.1.4.2 Preparación de materia prima .....	45
2.7.1.4.3 Elección y preparación del terreno .....	45
2.7.1.4.4 Materiales de construcción .....	46
2.7.1.4.5 Trazo y marcación del terreno .....	46
2.7.1.4.6 Proceso de construcción .....	47
2.7.1.4.7 Secado y curado del horno .....	48
2.7.1.4.8 Operación del horno .....	49
2.7.1.4.9 Toma de datos .....	52
2.7.1.4.10 Mantenimiento preventivo .....	52
2.7.1.5 VARIABLES DE RESPUESTA .....	53
2.7.1.5.1 RENDIMIENTO DE PROCESO .....	53
2.7.1.5.2 DENSIDAD APARENTE .....	53
2.7.1.5.3 PODER CALORÍFICO .....	53
2.8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
2.8.1 RENDIMIENTO DE PROCESO .....	55

2.8.2 DENSIDAD APARENTE .....	58
2.8.3 PODER CALORÍFICO.....	60
2.8.4 SONDEO DE ACEPTACIÓN.....	63
2.8.5 FUNCIONAMIENTO DEL HORNO .....	66
2.9 CONCLUSIONES.....	69
2.10 RECOMENDACIONES .....	71
2.11 BIBLIOGRAFÍA.....	72
 CAPITULO III.....	 73
 SERVICIOS REALIZADOS EN FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ .....	  73
 3.1 ANTECEDENTES.....	 74
3.2 ÁREA DE INFLUENCIA .....	74
3.3 OBJETIVOS .....	74
3.4 DESCRIPCIÓN DE SERVICIOS.....	75
3.4.1 REGENCIA FORESTAL .....	75
3.4.1.1 Descripción del problema .....	75
3.4.1.2 Planes operativos .....	76
3.4.1.3 Informes ante INAB .....	76
3.4.1.4 Desarrollo de controles administrativos .....	77
3.4.1.5 Comercialización de productos forestales .....	77
3.4.1.6 Generación de cartografía básica.....	78
3.4.1.7 Ensayo de especies forestales .....	78
3.4.2 DIVERSIFICACIÓN AGRÍCOLA.....	78
3.5 EVALUACIÓN .....	79
3.6 RECOMENDACIONES .....	79
 ANEXO I.....	 81
 ANEXO II .....	 89
 ANEXO III .....	 107

**INDICE DE CUADROS**

<b>CUADRO</b>		<b>PÁGINA</b>
Cuadro 1.	Tabla de aleatorización de tratamientos en proceso de carbonización en diseño estadístico completamente al azar.....	44
Cuadro 2.	Rendimiento de conversión de carbón vegetal en horno media naranja.....	55
Cuadro 3.	Análisis de varianza del % de conversión de leña a carbón producido en horno media naranja.....	57
Cuadro 4.	Resumen de agrupación de prueba de Tukey para % de conversión de leña a carbón.....	57
Cuadro 5.	Densidad aparente en carbón vegetal obtenido en horno media naranja.....	58
Cuadro 6.	Análisis de varianza de densidad aparente del carbón obtenido en horno media naranja.....	59
Cuadro 7.	Resumen de agrupación de prueba de Tukey para densidad aparente del carbón obtenido .....	60
Cuadro 8.	Propiedades físicas reportadas para carbón vegetal de pino, liquidámbar y encino obtenidos en horno media naranja.....	61
Cuadro 9.	Análisis de varianza de poder calorífico en carbón producido en horno media naranja.....	62
Cuadro 10.	Resumen de agrupación de prueba de Tukey para poder calorífico del carbón producido en horno media naranja.....	63

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
FIGURA 1A. Mapa de ubicación y límites de finca Chilax.....	83
FIGURA 2A. Mapa de localización y vías de acceso a finca Chilax.....	84
FIGURA 3A. Mapa de caminos internos de finca Chilax.....	85
FIGURA 4A. Mapa de curvas de nivel de finca Chilax.....	86
FIGURA 5A. Mapa de cobertura forestal de finca Chilax.....	87
FIGURA 6A. Mapa de escorrentía superficial de finca Chilax.....	88
FIGURA 7A. Planos para un horno argentino media naranja.....	91
FIGURA 8A. Planos para un horno argentino y vista del horno construido en Chilax.....	92
FIGURA 9A. Panorámica de sitio de construcción del horno finca Chilax.....	93
FIGURA 10A. Trazo y marcación de construcción del horno media naranja.....	94
FIGURA 11A. Corte de cuneta para cimiento del horno media naranja.....	95
FIGURA 12A. Construcción de cimiento y piso del horno media naranja.....	96
FIGURA 13A. Construcción del cinturón base del horno media naranja.....	97
FIGURA 14A. Planos de construcción de la cúpula del horno media naranja.....	98
FIGURA 15A. Vista de planta y ubicación de orificios del horno media naranja.....	99
FIGURA 16A. Revestimiento con lechada de barro del horno media naranja.....	100
FIGURA 17A. Secado y curado del horno media naranja.....	101
FIGURA 18A. Carga del horno media naranja con leña seca de liquidámbar.....	102
FIGURA 19A. Sellado de puerta con ladrillo y argamasa del horno media naranja.....	103
FIGURA 20A. Horno media naranja en operación en finca Chilax.....	104
FIGURA 21A. Apertura del horno media naranja en finca Chilax.....	105



FIGURA 22A. Descarga del horno media naranja y producto obtenido.....106

## TRABAJO DE GRADUACION

PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidámbar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE LA FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ

### RESUMEN

Bajo la coordinación del programa de ejercicio profesional supervisado de la Facultad de Agronomía y el apoyo de la empresa Chilax, S. A., en los terrenos de la unidad productiva finca Chilax, se desarrollo un estudio integral durante los años 2006 y 2007, que empezó con el planeamiento y ejecución de un diagnóstico de las características, condiciones y limitantes de la finca, logrando procesos de generación de información validada y, a su vez, permitió evaluar el sistema productivo utilizado y detectar sus potencialidades de desarrollo futuro. Este mismo conocimiento dejó puertas abiertas para elegir líneas de investigación para evaluar nuevas actividades y proyectos de servicios del EPSA para la finca.

En el primer capítulo de este documento, se expone el informe final de diagnóstico de la finca Chilax, con toda la información primaria y secundaria recabada, se plantea la problemática global, habiendo identificado 26 aspectos problema que tratan del recurso suelo, bosque, agua, agricultura, administración y logística de procesos; efectuando un análisis de priorización y jerarquización de la problemática detectada, dejando planteado iniciar acciones en los siguientes seis temas: a) falta de valor agregado a la madera; b) volumen remanente de los aprovechamientos; c) falta desarrollo de mercado a otras especies y nuevos productos maderables y no maderables; d) falta de un estudio de suelos; e) falta fuente de inversión asegurada en proyectos agrícolas con objetivos comerciales; y, f) subutilización de suelos de capacidad agrícola. En el diagnóstico se perfilan posibles proyectos productivos con potencial de desarrollo en los campos de silvicultura, hortícola, ornamentales, fruticultura, y piscicultura.

De las líneas de investigación identificadas se eligió hacer estudios sobre la producción carbonera, presentando en el segundo capítulo el informe "Procesamiento y aceptación del carbón obtenido en horno media naranja de las especies forestales *Pinus maximinoii* M., *Liquidambar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. En condiciones de la finca Chilax,

argumentado para el mismo que en la zona, la fabricación de carbón comparada con otras regiones del país resulta muy baja. En la búsqueda de opciones viables, se planteó una prueba piloto con el horno “Media Naranja”, por ser pequeño, de costo accesible, el más difundido en el mundo y su manejo correcto permite hasta 27% de conversión.

Para fines del ensayo se seleccionaron las especies forestales: pino candelillo (Pinus maximinoii Moore), encino o roble (Quercus Brachistachys Benth.), y liquidámbar (Liquidambar styraciflua L.), por ser las más abundantes en la finca, aplicando un diseño estadístico completamente al azar, con 3 tratamientos y tres repeticiones.

Los resultados obtenidos demuestran que en promedio, durante la producción en el horno “media naranja”, el rendimiento de conversión de leña a carbón en base a peso, la madera de encino (Quercus brachistachys Benth) presenta un 18% más de eficiencia, que la madera proveniente de las especies forestales liquidámbar (Liquidambar styraciflua L.) y pino (Pinus maximinoii Moore.)

El carbón de las tres especies forestales estudiadas, fueron muy bien aceptados durante el sondeo realizado, sin ningún rechazo. Reportando en este estudio que el carbón de encino (Quercus brachistachys Benth), presentó un rendimiento de conversión de 25.38%, alta densidad aparente de 273.8 Kg/m<sup>3</sup> y alto poder calorífico de 6,331 Kcal/kg. Los resultados del estudio fueron comparados con los estándares reportados por OLADE y FAO, concluyendo así, que es de excelente calidad, principalmente para uso industrial. El carbón de liquidámbar (Liquidambar styraciflua L.) con rendimiento de conversión de 20.81%, densidad aparente de 176.2 Kg/m<sup>3</sup> y buen poder calorífico de 5977 Kcal/kg, y el carbón de pino (Pinus maximinoii Moore.) con rendimiento de conversión de 20.75%, densidad aparente 233.33 Kg/m<sup>3</sup> y buen poder calorífico 4960 Kcal/kg se pueden calificar de una excelente calidad, principalmente para uso doméstico y de mediana calidad para uso industrial, comparados a los mismos estándares mencionados.

Al final, se recomienda a los propietarios de la finca Chilax, establecer una batería de 8 hornos sugiriendo hornos de 7 metros de diámetro, para alcanzar un escenario económico comercial favorable. En las fincas sin mercado de leña, producir carbón mediante el uso de hornos carboneros, basados en los resultados de este estudio.

El capítulo tres presenta el informe final de servicios en la finca, que giraron en torno a la regencia forestal, planes operativos anuales, informes ante INAB, desarrollo de controles administrativos, comercialización de productos forestales, generación de cartografía básica, ensayo de especies forestales y apoyo a la diversificación agrícola. La regencia se desarrolló cubriendo el aspecto legal, ingresando al marco jurídico a finca Chilax. Los diferentes mecanismos de control administrativo y técnico han regularizado las operaciones, , mediante formularios y reportes, así como el establecimiento de planes anuales de ejecución de proyectos, planes de acción autorizados para plantaciones voluntarias, licencias comerciales y programa de incentivos forestales. Mediante el desarrollo de estos servicios la finca ha logrado incrementar su portafolio de proyectos agrícolas y forestales y en adelante tener un control administrativos confiable y ordenado, habiendo cubierto satisfactoriamente las metas propuestas en este ejercicio profesional.

## **CAPITULO I**

### **DIAGNÓSTICO DE FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ**

## **1.1 Introducción**

A raíz de la firma de una carta de entendimiento y cooperación entre CHILAX, S.A. y el Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se inició un proceso de práctica aplicada para el estudiante en la última fase de su carrera académica.

La forma de conocer el sitio de estudio empezó con el planeamiento y ejecución de un diagnóstico de las características, condiciones y limitantes de la Finca Chilax, en jurisdicción de San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

En el desarrollo de este trabajo, se han hecho visitas de reconocimiento, entrevistas, tomas de muestras y recopilado información relativa al área, que han permitido plasmar en este documento, el fruto de la comparación de las diversas fuentes de información consultadas y generadas de primera mano, obteniendo como resultado una visión integral y de conjunto de todos aquellos aspectos que impulsan el desarrollo de las actividades productivas y laborales de la Finca, así como aquellos aspectos que frenan y limitan su desenvolvimiento.

El estudio diagnóstico ha permitido conocer a fondo la problemática de la Finca y su entorno, elegir en consenso que problemas son los más impactantes y cuales pueden enfrentarse a la mayor brevedad con posibilidades de éxito, así también devela muchas potencialidades presentes en los recursos de la Finca, de los cuales algunos no han sido desarrollados a totalidad o no han sido considerados como tales. Este mismo conocimiento deja puertas abiertas a elegir proyectos de servicios para el EPS y líneas de investigación para evaluar nuevas y mejores actividades para Finca Chilax.

## **1.2 Antecedentes**

En el área templada de las Verapaces, ha sido dominante en las fincas pequeñas, medianas y grandes dedicarse al cultivo de Café y del Cardamomo como actividad agrocomercial, en menor grado la producción bovina, algunas pocas fincas se han dedicado a producir plantas

ornamentales de exportación y en el minifundio se produce Maíz y Frijol principalmente para consumo propio y, a manera de huertos familiares Café, Cardamomo, Achiote, Pimienta y frutas destinadas a comercialización. En los últimos años se ha venido realizando un giro importante en la producción de hortalizas con fines comerciales, donde destacan Tomate, Papa, Brócoli, Chile Pimiento y otros. En algunos casos estas nuevas actividades agrícolas han sustituido áreas extensas con cobertura forestal, que posteriormente han sido abandonadas.

Esta zona también es aún una de las más ricas en existencia y potencial forestal. Durante muchísimos años han sido extraídos cientos de miles de metros cúbicos de maderas de coníferas y latifoliadas, realizado como un proceso puramente extractivo, sin reposición de la masa forestal. Sin embargo, en la última década programas de Incentivos Forestales del Instituto Nacional de Bosques ha permitido establecer nuevas plantaciones, aunque aún no se alcance un balance positivo entre extracción y repoblación.

Comúnmente las unidades productivas en el área rural de Guatemala tienen en común y por razones ancestrales, el ser manejadas de manera empírica, unas con muy buenos resultados, sin embargo, la mayoría no tiene un rumbo fijo a seguir, sin objetivos de producción, sin conocimiento de sus potencialidades y límites en cuanto a sus propios recursos físicos, de personal y de inversión, o de sus posibilidades de diversificación y reconversión.

Esta práctica ha llevado a muchas unidades a la quiebra financiera, el abandono de los procesos productivos y/o a su venta, tal el caso de fincas cafetaleras que dependían exclusivamente de éste cultivo y por las fluctuaciones tan drásticas en el mercado mundial, no tuvieron como adaptarse, muchas veces por no conocer su propio potencial.

Finca CHILAX se encuentra en el centro de ésta zona, en jurisdicción del municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz, así como el resto del área, ésta no ha sido la excepción, habiendo pasado por ser una finca agrícola con café y bosque natural de coníferas y mixto, a ser una unidad ganadera durante doce años con algunos cultivos agrícolas a manera de ensayos y un proceso de repoblación forestal voluntaria en las laderas montañosas; hasta quedarse sin actividad productiva durante la década de los '90s. En este proceso cambio varias veces de propietarios, hasta que en el año 2000 pasó a ser propiedad de la Entidad CHILAX, Sociedad Anónima, la cual es la propietaria actual. En ese año se efectuó

un inventario forestal general y se planteó un plan de manejo con fines de aprovechamiento comercial de cinco turnos, de los cuales en el actual 2006 se está ejecutando el tercero. La unidad CHILAX no ha sido estudiada a fondo y se cuenta como fuente de información detallada nada más que con el plan de manejo forestal.

En las actuales circunstancias los personeros de Finca Chilax han establecido un convenio de cooperación con la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, y que a través del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA- se logren procesos de generación de información validada, que permita evaluar el sistema productivo actual y detectar sus potenciales de desarrollo futuro, siendo el primer paso, conocer de manera integral, completa y sistemática la situación actual e histórica reciente mediante el presente estudio diagnóstico.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar un proceso de diagnosis que brinde información adecuada para definir la problemática global de la unidad productiva agroforestal Finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Colectar información primaria y de fuentes secundarias para determinar la problemática agrícola, forestal y administrativa de Finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.
2. Efectuar un análisis de priorización y jerarquización de la problemática detectada en Finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.
3. Identificar las oportunidades y posibles proyectos productivos con potencial de desarrollo para Finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.



## **1.4 Metodología y recursos**

El desarrollo del estudio de diagnóstico empleó desde la recolección de información de fuentes secundarias, tal el caso del Plan de Manejo Forestal, Mapas cartográficos, Fotografía aérea, registros catastrales y otros, así como la generación directa de fuentes primarias, incluyendo la observación directa en campo de procesos y eventos, las entrevistas casuales de sondeo rápido y semiestructuradas con personal de campo, administrativo y nivel gerencial, la toma de datos y evidencias gráficas con cinta de video y otros, que permitió comprender las circunstancias favorables y en contra en los que se desarrollan las actividades generales de Finca Chilax.

## **1.5 Resultados**

### **1.5.1 Descripción general de la finca**

#### **1.5.1.1 Descripción física**

##### **1.5.1.1.1 Ubicación, extensión y límite**

Finca CHILAX se ubica en jurisdicción del municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz, localizada en la coordenada 15° 22' 30" Latitud Norte y 90° 20' Longitud Este. Tiene una extensión total registrada de 460.48 hectáreas, equivalente a 10.23 caballerías. La finca colinda al Norte con terrenos de aldea Chicujai, al Sur con terrenos de Aldea Mestelá, al Este con Aldea Campat y al Oeste con Finca Sostén. (figura 1A)

##### **1.5.1.1.2 Vías de acceso e infraestructura**

Existen dos vías vehiculares durante todo el año para llegar a Finca Chilax desde Ciudad de Guatemala, sobre la carretera asfaltada hacia Cobán en el Km 197 frente a Park Hotel, Santa

Cruz Verapaz, cruzar a la derecha sobre ruta municipal 5 de terracería, avanzar 12 Km. Hasta encontrar el camino a San Pablo Xucaneb. Una ruta más larga es llegar hasta la Ciudad de Cobán (215 Km), luego dirigirse hasta San Juan Chamelco (9 km), tomar el camino hacia San Pablo Xucaneb recorriendo 7 km hasta llegar al casco de la finca a la orilla de la ruta (figura 2A).

Dentro de los límites de la finca, se tiene un camino interno de 2.5 km balastrado transitable durante todo el año y una red de caminos internos de menor transitabilidad que en conjunto suman aproximadamente 15 km que durante época lluviosa más fuerte se ven muy limitados. La finca tiene servidumbre de paso peatonal a los vecinos de aldea Campat (figura 3A).

Existe en el casco principal una casa patronal con servicios de luz eléctrica de Deorsa y agua entubada propia, una oficina, habitaciones y cocina de empleados, bodegas, así como una sección de estructuras de madera relativamente grandes, que anteriormente fueron utilizadas para ganado lechero, un corral con manga, baño y báscula.

#### **1.5.1.1.3 Clima y zona de vida**

Según De la Cruz, el clima del área es templado con un promedio de temperatura de 18° C y una precipitación anual de 4,000 mm., considerado lluvioso con estación seca no definida. Está clasificada dentro de la Zona de Vida Bosque muy Húmedo Subtropical (frío), presentando como especies indicadoras a Pinus maximinoii, Quercus ssp., Liquidambar styraciflua, Ostrya sp, Myrica serifera, Carpinus sp. y otras (1).

#### **1.5.1.1.4 Relieve**

Los terrenos de la finca se caracterizan por tener una parte central relativamente de plana a ondulada suave con orientación Este-Oeste y en los costados Norte y Sur dos cadenas montañosas con pendientes de inclinadas a escarpadas en algunas partes, dentro de estos macizos montañosos se presentan pequeñas mesetas y depresiones sin drenaje, conocidos

como "Siguanes". La elevación mayor esta en la cota 1932 m.s.n.m. en la ladera Sur y el punto más bajo en cota 1400 m.s.n.m. (figura 4A).

#### **1.5.1.1.5 Geología y suelos**

La zona esta clasificada con génesis en el período Cretácico, de rocas sedimentarias con identificación Ksd de carbonatos neocomianos-campanianos, incluye series de suelos Cobán, Ixcoy, Campur, sierra madre y grupo yojoa (7).

En la clasificación de suelos de Guatemala se reporta la serie de suelos que predomina en la región son los suelos Tamahú, son poco profundos, de bien a excesivamente drenados, desarrollados sobre caliza en un clima húmedo a húmedo seco. Están asociados a los suelos profundos Cobán y se asemejan a los Chacalté, La vegetación nativa consiste principalmente de un bosque decido, pero hay pino en casi todas las áreas (7).

### **1.5.2 Recursos naturales**

#### **1.5.2.1 Tenencia y uso de la tierra**

El régimen de tenencia de la tierra en Finca Chilax es de propiedad privada, perteneciente a la entidad CHILAX, SOCIEDAD ANONIMA.

En los terrenos de la finca el 70% aproximadamente están bajo uso forestal, 3% el casco principal, 21% potreros antiguos y áreas de barbecho, 6% en uso agrícola (figura 5A).

#### **1.5.2.2 Hidrología**

La escorrentía superficial está representada por el Río Chilax que atraviesa la finca del Este al Oeste, es un afluente importante del Río Cahabón y parte de la cuenca del Río Polochic. Dentro de la finca corren dos pequeños arroyos, cuyo nacimiento está en la ladera Norte, como

corrientes permanentes y uno de ellos se capta para servicio de la casa. También se forman varias corrientes efímeras en la temporada más lluviosa del año en los meses de septiembre a enero que bajan de ambas laderas hacia el valle central (figura 6A).

### **1.5.2.3 Tipo de suelos**

Los suelos de la finca por su génesis y composición pueden considerarse como suelos levemente kársticos en las partes de cadena montañosa, y como suelos profundos en el valle central. En toda la finca los suelos son bien drenados, de textura franco arcillosa y pH moderadamente ácido, con cierta lixiviación de bases. Algunas áreas pequeñas son inundables en cierta época del año.

### **1.5.2.4 Bosques naturales y plantaciones**

La cobertura forestal de la finca cubre 322 ha del total, se compone de la siguiente manera:

#### **A. Bosque natural mixto**

Se encuentra en una extensión de 50 ha (16%). Son bosques sin manejo en varios rodales que están ubicados a lo largo del límite norte que colinda con Chicujai, los que presentan latifoliadas del género *Quercus*, *Ostryas*, *Carpinus*, *Nectandra*, *Myrica* y otras, así como *Liquidambar* y *Pinus maximinoii*. Algunos ejemplares tienen más de 70 cm de DAP. Tiene árboles maduros y sobremaduros y se han dejado como zonas de reserva forestal y de fauna.

#### **B. Bosque natural de pino**

En este tipo de bosque el 93% del dosel es dominado por *Pinus Maximinoii* en asociación con *Liquidambar* y *Quercus sp.*, cubre una extensión de 40 ha (12% del total). Presenta árboles de pino de hasta más de 100 cm de diámetro a la altura del pecho con alturas entre los 18 a 35 metros. Se localizan rodales en la ladera norte y la ladera sur con individuos maduros y algunos sobremaduros, así como muchos juveniles entre 15 y 25 años de edad.

### C. Bosque natural de encino

Es muy similar al bosque de latifoliadas pero predomina fuertemente el Genero Quercus, y se mezcla con Ostryas, Nectandra, Myrica. Ocupa 108 ha de terreno (34%). Tiene árboles maduros y sobremaduros y se han dejado como zonas de reserva forestal ubicada en la zona más alta de la ladera sur colindante con Mestelá.

### D. Plantaciones de pino maduras

En 1986 se establecieron 41.27 ha de plantación de *Pinus maximinoii* a lo largo de la ladera Norte desde el Límite con Campat hasta el límite con Finca Sostén. En 1988 se establecieron 34.47 ha de plantación de *P. maximinoii* en la ladera Sur al lado del Río Chilax. Estas plantaciones lamentablemente no tuvieron manejo silvicultural, sin podas ni raleos, por lo que presentaban alta nudosidad, malformación de fustes, recesión de copas y estancamiento de crecimiento en diámetro y altura. Se prescribió un manejo en tala rasa para renovación de toda la plantación '86 en tres turnos por lo que actualmente quedan 24 hectáreas con cobertura. La plantación '88 se hizo un raleo de 50% y cuatro años después serán manejados a tala rasa y renovación. Cubren a la fecha 59 ha que representa el 16% del total.

### E. Plantaciones de pino nuevas

A mediados de los años 2003 se establecieron 8 has de plantación con *P. maximinoii* como compromiso de reforestación del primer turno de aprovechamiento, a las cuales se les ha dado mantenimiento de chapeos y una primera poda al final de 2005.

En el año 2005 se establecieron 15 ha de plantación de compromiso por el segundo turno y 25 ha de plantación de pino como parte del programa de incentivos forestales –PINFOR-. En total cubren 45 ha (14%).

En el año 2006, a partir de mayo se tiene planificado establecer 45 ha de plantaciones nuevas, siendo 15 ha de compromiso para cubrir el tercer turno y 30 ha para incluirlas en PINFOR.

### **1.5.3 Aspectos sociales y administrativos**

Finca Chilax no tiene colonos permanentes. Administrativamente tiene una jerarquía encabezada por un gerente general, un regente forestal y agente comercial, un administrador de operaciones, cuatro vigilantes-capataces, un conserje-bodeguero, un tractorista y su ayudante, dos pilotos de camión y cuatro ayudantes, tres motosierristas, cinco bueyeros, y personal de campo que varía entre 10 a 30 trabajadores según las necesidades, manteniendo en promedio 35 puestos de trabajo la mayor parte del año.

La planificación de las actividades se hace en equipo y consenso entre el Gerente, el Regente y el Administrador. Se asignan responsabilidades y ejecutores de los procesos.

### **1.5.4 Actividades productivas**

#### **1.5.4.1 Actividades forestales**

A partir del año 2002 se inició el proceso de aprovechamiento de los recursos forestales existentes en Finca Chilax, mediante la ejecución del plan de manejo aprobado por INAB, ya que no se tenían implementados proyectos productivos de otra índole. En los últimos tres años, la economía de la finca se ha basado exclusivamente en la producción y venta de los productos forestales. En promedio se ha producido 5,000 m<sup>3</sup> de madera de pino por año, compuesto por un 60% de troza rolliza para aserrío mayor, 15% en trocillo (diámetro menor a 22 cm), un 10% en flicht para tablilla de tarimas y, por último 15% de leña (encino, liquidámbar y pino).

El aprovechamiento forestal del bosque natural está bajo el sistema de tala rasa y acompañado de proceso de repoblación forestal inmediata con plántulas de pino a distanciamientos de 3 x 3 metros. Igualmente, se hace el manejo de plantaciones voluntarias que por su conformación actual se corta a tala rasa y se establecen nuevas plantaciones para renovarlas, con un programa planificado de intervenciones silvícolas.

Durante la ejecución del plan de manejo forestal aprobado, en los dos turnos anteriores y lo que va del tercero, desde el año 2002 se han aprovechado solamente 28 ha de las 38 hectáreas planificadas; y en ese mismo lapso de tiempo se han establecido 55 hectáreas de plantaciones forestales nuevas, siendo de éstas 35 ha de carácter voluntario, y 20 ha de compromiso.

#### **1.5.4.2 Actividades agrícolas**

La visión de proyectos productivos agrícolas inicio a mediados del año 2004, con un ensayo de 2 ha de izote, posteriormente en el 2005, se ingresaron 15 ha al programa PINFRUTA y se estableció aguacate injertado tipo Hass, un área de ensayo de 3 ha de naranja Washington, y 2.5 ha de café. Las actividades agrícolas, han estado supeditadas al ingreso proveniente de las actividades forestales, por lo que su desarrollo y crecimiento en área no ha sido el deseado.

El objetivo de éstos cultivos, es lograr la diversificación de productos comerciales a mediano plazo, para contar con una fuente alterna de ingresos, cuando termine el ciclo del plan de manejo forestal (2008), ya que esta actividad tendrá un período de 2-3 años sin generar ingresos, hasta llegar al primer raleo de las plantaciones voluntarias y de compromiso.

Recientemente se aprobó a un grupo seleccionado de 15 familias de la aldea Chilaxito, para hacer cultivos de maíz y frijol durante un año, en asocio con la plantación de pino de compromiso correspondiente al turno dos, con una extensión de 15 hectáreas, buscando reducir costo en el mantenimiento de plantaciones y apoyar a personas sin acceso a tierras de cultivo.

#### **1.5.5 Problemática identificada**

El conjunto de factores limitantes que componen la problemática total de la unidad productiva, forman una red de interrelaciones y no se encuentran aislados, sin embargo para facilitar su estudio, basados en el análisis de información recabada mediante, entrevistas, sondeos y

observación directa del autor, los problemas identificados se agruparon por el área de interés o entorno en el que más incidan.

#### **1.5.5.1 Problemas del área de recursos naturales**

En la problemática de recursos suelo, bosque y agua podemos mencionar la siguiente serie de problemas identificados:

- Plantaciones forestales sin manejo durante su etapa de crecimiento, y como consecuencia presenta muy bajo estándar de calidad fitosanitaria, diamétrica, morfométrica y propiedades físico-mecánicas.
- Muy baja densidad de infraestructura vial hacia las zonas productivas de bosque.
- Se produce únicamente materia prima, sin darle valor agregado en la misma finca.
- Bajo uso y poco mercado de leña, principalmente pino, quedando altos remanentes en las zonas de aprovechamiento primario sin uso actual definido.
- Falta de estudio de clasificación de capacidad y uso de suelos.
- No existe aforo de caudal del río Chilax y tributarios menores, ni se conocen las propiedades físicas y químicas de las fuentes de agua para diferentes usos dentro de la finca.
- No se tiene desarrollado mercado para otras especies forestales.
- No se cosechan semillas forestales.
- El plan de reforestación esta centrado exclusivamente en Pino.
- El sistema de arrastre de troza con tracción animal mediante bueyes, es de bajo rendimiento, afecta el suelo aumentando el riesgo de erodabilidad del mismo.
- Una amenaza latente, es que la actividad forestal solo producirá ingresos 2 o 3 años más y permanecerá de 3 a cuatro años en período vegetativo, hasta los primeros raleos de plantaciones nuevas.
- El plan de manejo elaborado en el año 2000 prácticamente ha caducado y será necesario hacer un nuevo levantamiento forestal, para presentar un replanteo de manejo al INAB.



### **1.5.5.2 Problemas del área agrícola**

En la problemática del área agrícola podemos mencionar la siguiente serie de problemas identificados:

- No existe una fuente ni presupuesto realmente disponible de inversión en proyectos de cultivo agrícola para corto y mediano plazo.
- Áreas de buena vocación agrícola están subutilizadas por falta de proyectos y presupuesto para su ejecución.
- Existe riesgo de heladas en los meses de noviembre a enero.
- La alta pluviosidad es factor generador de enfermedades fungosas, lo cual debe ser considerado para la producción agrícola.
- Existen zonas inundables por efecto del asolvamiento de quineles existentes, los cuales no tuvieron mantenimiento por los años que no fué trabajada la finca. Con un trabajo de zanjeo estas zonas pueden ser usadas nuevamente para cultivos.
- La presencia de semovientes (bueyes) ha causado daños a las plantaciones de Aguacate, café, naranja e izote, así como en las reforestaciones, por ramoneo de brotes y pisoteo, debido a la falta de cercado en algunas áreas de cultivos y de la falta de cuidado de los bueyeros de mantenerlos en su respectivo potrero.

### **1.5.5.3 Problemas del área administrativa**

En la problemática del área Administrativa y logística, no menos importante que las anteriores, podemos mencionar la siguiente serie de problemas identificados:

- Los ingresos generados por la extracción y venta de productos forestales, en el último año, se han visto reducidos, por la mayor lejanía del bosque, el aumento de labores para llevar el producto a los cargaderos, el incremento en los costos de jalete con bueyes, incremento obligatorio en salarios de empleados, subida de precios de combustibles y repuestos que afectan directamente el costo de flete a puntos de venta y del corte de madera con motosierra. Tampoco ha habido incremento de precios de venta de los productos en las industrias.

- Las actividades agrícolas han sido costeadas con los ingresos provenientes de la extracción forestal, siendo un factor que limita el mantenimiento y crecimiento del área reforestada y a la vez no permite efectuar completamente la actividad agrícola.
- A los cultivos de izote, aguacate, naranja y café ha faltado chapias y abonado, afectando su desarrollo y sanidad.
- Existe una servidumbre de paso para los vecinos de la aldea Campat, que no usan exclusivamente el camino central, sino penetran y salen por cualquier rumbo y han generado daños físicos a plantaciones, cercos e instalaciones, así como robo y pillaje de plantas, madera, leña, frutos, cacería furtiva y otros. Estos daños también son generados por vecinos de aldea Mestelá y de Chicujai, aunque no hay servidumbre de paso para ellos.
- Se reporta que no se cuenta con mano de obra agrícola calificada para el manejo de cultivos especializados, como frutales, ornamentales y vegetales.
- Existe una fuerte barrera idiomática por ser una zona K'eqchi, algunos entienden poco español, otros solamente hablan K'eqchi y el nivel educativo es muy bajo, debido a que la mayoría son analfabetos o solo han cursado 2 a 3 años de primaria.
- La baja densidad de la red de caminos dificulta el seguimiento y supervisión de los diferentes focos de trabajo y zonas de pillaje, lo cual se podría mejorar pero con más personal o invertir en nuevos y mejores caminos.
- Un paso angosto y las fuertes pendientes en aldea Chilaxito a 3 Km de la Finca, no permiten el ingreso de tráileres y furgones, estando limitado el ingreso solo de camiones doble eje y sencillos.

### **1.5.6 Priorización de problemas**

Por viabilidad técnica y económica, conveniencia de propietarios y posibilidades en el tiempo del EPS, algunos de los problemas en que se pueden iniciar procesos de solución con mayor urgencia y prioridad son:

1. Falta de procesos para dar valor agregado a la madera.
2. El volumen remanente de los aprovechamientos sin uso actual.

3. Falta desarrollo de mercado a otras especies y nuevos productos maderables y no maderables.
4. Falta un estudio de suelos.
5. Falta fuente de inversión asegurada en proyectos agrícolas con objetivos comerciales.
6. Subutilización de suelos de capacidad agrícola.

### **1.5.7 Potencial productivo y otras oportunidades**

Al solventar inicial o totalmente los problemas más grandes y urgentes se estarán solucionando otros de menor prioridad ya que están ligados estrechamente, principalmente si se logra mejorar el flujo de caja de toda la operación, con elevar el nivel tecnológico de los actuales procesos, que permitan la reinversión y generación de superávit para los propietarios, esto a su vez abrirá las puertas para nuevas oportunidades de producción y mercados alternos, e impulsará el desarrollo de todo el potencial intrínseco de la finca y sus recursos naturales.

De los diversos puntos que representan potencialidades para producción y desarrollo de proyectos viables tecnológica y económicamente se mencionan los siguientes:

Silvicultura: Esta es la actividad mayoritaria de la finca actualmente y tiene aún más potencial por desarrollar considerándose:

- a) Ordenamiento forestal de 300 has. para cosecha de 20 has por año.
- b) Industrialización forestal primaria: estudiar opciones de efectuar aserrío primario en la misma finca para dar valor agregado a materia prima producida en la finca.
- c) Producción carbonera: evaluar la factibilidad de producir carbón con todo el material remanente de los aprovechamientos mayores.
- d) Viveraje comercial de especies forestales en bandeja.
- e) producción de semillas forestales: determinar cronograma fenológico de las especies forestales de la finca y seleccionar árboles padre para cosechar semillas.

Ornamentales:

- f) Izote, incrementar área de siembra y combinar con cultivo de aguacate para compartir costos de limpiezas.

- g) Leather leaf, realizar un ensayo para producir plantas madre para siembras de carácter comercial.
- h) Pacaína, domesticar de la que ya existe naturalmente en la finca. Reproducir material y definir áreas de cultivo combinadas con otros cultivos de cobertura.

#### Fruticultura:

- i) Aguacate, incrementar el área de siembra anualmente, hasta una caballería en total.
- j) Cítricos, esperar los resultados de adaptación de Naranja Washington para decidir incrementar el área de siembra.
- k) Piña, ya se ensayo en la finca años atrás con buenos resultados.
- l) Nueces, El crecimiento de nogal es bueno que además de nueces producirá madera fina.
- m) Pacaya, tiene demanda creciente en el mercado nacional y la oferta actual no la cubre, es nativa del lugar, sin plagas, acepta ser combinada con otros cultivos.
- n) Naranjilla, fruto del tamaño de una mandarina, de sabor agradable y ácido, nativa del lugar que se consume su pulpa directamente o se usa para elaborar refresco. Actualmente tiene mercado local en Chamelco y Cobán a precio de Q1.00 por fruto. Y cada planta puede producir aproximadamente 50 frutos por temporada. Es una planta solanacea, (*Solanum quitoense*) con muchas espinas en hojas, tallos y frutos, no tiene problemas de plagas y enfermedades. Con potencial para desarrollar su cultivo comercialmente.
- o) Arándano: existen dos fincas cercanas que ya lo cultivan y pueden ser la fuente de material parental, tiene muy buen precio en el mercado (Q.30.00 Lb).
- p) Café: por la altura de Chilax, el café producido es de tasa estrictamente dura, que es el que actualmente tiene mejor precio en mercado internacional y se considera rentable.

#### Horticultura intensiva:

- q) Con la disponibilidad de agua, tipo de suelos y condiciones ambientales hay potencial para producir hortalizas de Tomate, Chile pimiento, chiles picantes, ejote y/o minivegetales bajo condiciones controladas, mediante el uso de invernaderos convencionales y/o casas de malla.

Piscicultura: En la zona de la Verapaces ha incrementado este tipo de producción, el producto ya tiene buena aceptación a nivel local, regional y nacional.

- r) Establecer estanques apropiados y lagunetas artificiales, aprovechando el potencial hídrico en la finca se puede producir con buenas expectativas Carpa, Tilapia, Truchas, Crawfish (langostinos).

## **1.6 Conclusiones**

La mayoría de recurso suelo ha sido bien utilizado de acuerdo a sus pendientes y capacidad productiva aparente, sin embargo un estudio detallado brindará información para su mejor manejo en materia agrícola y forestal de producción. No todos los recursos y potenciales presentes en la finca han sido utilizados y desarrollados.

De la gama de problemas identificados algunos no tienen solución posible por los propietarios de la Finca, Otros son de carácter estructural asociado al sistema gubernamental y unos más tendrán posibles soluciones en el largo plazo, sin embargo en la manera de lo posible al enfrentar los problemas prioritarios se estará cimentando un futuro más prometedor para la unidad productiva Finca Chilax y de todas aquellas personas que dependen directa e indirectamente de ella.

## **1.7 Recomendaciones**

Dentro del plazo de tiempo del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía en la finca Chilax, se puede aportar apoyo comenzando por elaborar perfiles de servicios y/o eligiendo líneas de investigación para proyecto de graduación en los siguientes temas:

Regencia forestal

Ensayo de nuevas especies forestales para silvicultura y Agroforestería.

Evaluar la producción carbonera

Efectuar un estudio de capacidad y uso de suelos.

Efectuar análisis físico-químico de las fuentes de agua para consumo humano y riego agrícola.

## 1.8 Bibliografía

1. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
2. GeoRecursos, GT. 2000. Plan de manejo forestal de finca Chilax, San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Guatemala, Finca Chilax. 45 p.
3. Little, TM; Hills, FJ. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 3 ed. México, Trillas. 271 p.
4. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
5. USAC (Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas, GT). 1991. Guía para la elaboración de proyectos de tesis. Guatemala. 8 p.

## CAPITULO II

**PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidambar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ**

PROCESSING AND ACCEPTANCE OF CHARCOAL OBTAINED BY HALF ORANGE FURNACE FROM THE FOREST SPECIES *Pinus maximinoii* M., *Liquidambar styraciflua* L. and *Quercus brachistachys* B. UNDER CONDITIONS OF THE CHILAX FARM, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ.

## TRABAJO DE INVESTIGACION

### **PROCESAMIENTO Y ACEPTACIÓN DEL CARBÓN OBTENIDO EN HORNO MEDIA NARANJA DE LAS ESPECIES FORESTALES *Pinus maximinoii* M., *Liquidambar styraciflua* L. y *Quercus brachistachys* B. EN CONDICIONES DE FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ.**

#### RESUMEN

Los aprovechamientos forestales en las Verapaces, se dirigen mayoritariamente a la extracción de troza destinados al aserrío primario, con mucho desperdicio de lepas y aserrín. Pocos buscan usar material de bajos diámetros, aunque, en muchos casos no se efectúa un aprovechamiento integral de todo el material proveído por el bosque, significando el material leñoso dejado en campo hasta un 40% del volumen de la masa forestal.

Durante el año 2000, en la finca Chilax, San Juan Chamelco, Alta Verapaz, se efectuó un inventario forestal y un plan de manejo, considerando la extracción primaria para trozas de aserrío y el cálculo de "leña" ascendió a 9200 m<sup>3</sup> para todo el plan. En la zona, la fabricación de carbón comparada con otras regiones del país resulta muy baja, siendo efectuada en Baja Verapaz usando trincheras o fosas, enterrando el carbón, con muy bajo rendimiento de conversión entre 10 y 13%. En la búsqueda de opciones viables, se planteó una prueba piloto con el horno "Media Naranja", por ser pequeño, de costo accesible, el más difundido en el mundo y su manejo correcto permite hasta 27% de conversión. Se seleccionaron para carbonización las especies forestales: pino candelillo (*Pinus maximinoii* Moore), encino o roble (*Quercus Brachistachys* Benth.), y liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.), aplicando un diseño estadístico completamente al azar, con 3 tratamientos y tres repeticiones.

El horno construido es una tecnología de bajo costo de implementación y es una opción de aprovechamiento a materiales que están quedando desperdiciados en el campo forestal; está en uso constante y se convirtió en una unidad piloto demostrativa, visitada por personeros institucionales y propietarios de otras fincas. En este ensayo se generó información de primera mano para la producción de carbón en horno en la zona de influencia y con especies locales, demostrando su viabilidad y aceptación por la calidad del producto generado. La venta de



carbón resulta dar 60% más de ingresos, que la venta de leña puesta en finca. En promedio, durante la producción en el horno “media naranja”, el rendimiento de conversión de leña a carbón, la madera de encino (*Quercus brachistachys* Benth) presenta un 18% más de eficiencia que la madera proveniente de las especies forestales liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.) y pino (*Pinus maximinoii* Moore).

Por sus características, el carbón de encino (*Quercus brachistachys* Benth), en rendimiento de conversión de 25.38%, alta densidad aparente de 273.8 Kg/m<sup>3</sup> y alto poder calorífico de 6,331 Kcal/kg, se califica de excelente calidad, principalmente para uso industrial.

El carbón de liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.) con rendimiento de conversión de 20.81%, densidad aparente de 176.2 Kg/m<sup>3</sup> y buen poder calorífico de 5977 Kcal/kg, y el carbón de pino (*Pinus maximinoii* Moore.) con rendimiento de conversión de 20.75%, densidad aparente 233.33 Kg/m<sup>3</sup> y buen poder calorífico 4960 Kcal/kg se pueden calificar de una excelente calidad, principalmente para uso doméstico y de mediana calidad para uso industrial.

Sí existen diferencias estadísticas altamente significativas en las propiedades físicas de rendimiento de conversión, densidad aparente y poder calorífico, entre el carbón obtenido de las tres diferentes especies forestales utilizadas, rechazando la hipótesis inicial planteada.

Durante el sondeo realizado el carbón de las tres especies forestales, fué muy bien aceptado,

A los propietarios de la finca Chilax, se recomendó considerar el potencial positivo de la producción de carbón y establecer una batería de 8 hornos media naranja, en diferentes ubicaciones estratégicas dentro de la finca, sugiriendo hornos con diámetros de 7 metros que permitan producir el triple de cantidad de carbón en casi el mismo tiempo que el horno piloto, para alcanzar un escenario económico comercial favorable.

Se recomienda a instituciones académicas, promover estudios de adecuación y adopción del uso de carbón producido en horno, en las operaciones con secadoras de granos y semillas, tal el caso del secado de cardamomo, café y otros, que actualmente consumen leña como combustible -en su mayoría verde-, con lo cual generan mayor contaminación y deterioro más rápido de los sistemas de combustión por la herrumbre provocada por el vapor de la leña verde.

## 2.1 Introducción

En el área templada de las Verapaces, ha sido predominante dedicarse al cultivo de café y del cardamomo como actividad agrocomercial. También ésta zona es una de las más ricas en existencia de bosques naturales, pero con la baja sensible de éstos productos en los mercados externos, los propietarios de fincas han enfocado su atención entre otros recursos, hacia los bosques naturales, tenidos hasta hace pocos años como reservas o áreas financieramente anuladas sin aprovechar y, en la actualidad, considerarlos seriamente como una fuente de recursos económicos, incrementándose el número de licencias forestales en ejecución y en proceso de autorización. Durante muchos años han sido extraídos cientos de miles de metros cúbicos de maderas de coníferas y latifoliadas, como un proceso puramente extractivo, con poca o sin reposición de la masa forestal, o para cambio de uso del suelo en agricultura o ganadería. Además, en la última década el potencial forestal de ésta región está siendo apuntalado fuertemente por medio del establecimiento de plantaciones voluntarias con el programa de incentivos forestales del Instituto Nacional de Bosques, aunque aún no se alcanza un balance positivo entre extracción y repoblación.

Como reflejo de los requerimientos de la industria de la madera, se han predeterminado las operaciones de los aprovechamientos forestales en campo, marcando la tendencia a la obtención primaria de trozas de pino, casi exclusivo para aserrío mayor, en diámetros superiores a los 25 cm. Otras especies de uso limitado o inexistente en industrias, en algunos casos se usan para leña, con preferencia de consumo de encino, liquidámbar y otras latifoliadas, aunque tengan potencial maderable y trabajabilidad. Estas especies de poco valor comercial están íntimamente ligadas al bosque de pino, por compartir el hábitat como especies asociadas y/o codominantes en los bosques mixtos.

Existe una serie de diseños de hornos para fabricar carbón, usados en todo el mundo desde pequeños, medianos y grandes. Desde los de bajo costo, hasta los más sofisticados, de altos costos de construcción y mantenimiento. Los hornos más comunes y adaptables a nuestra realidad son los de mampostería de ladrillo, también llamados de albañilería, sin embargo los hay de otros materiales como concreto armado, de metal, inclusive portátiles.

Este ensayo buscó determinar las ventajas competitivas tecnológicas y de mercado para el manejo de los productos marginales en los aprovechamientos forestales que se desarrollan en Finca Chilax, mediante la implementación de un horno tipo “Media Naranja” para procesamiento de carbón vegetal. El ensayo se llevó a cabo a partir de mayo/2006 para dar valor agregado a nuevos productos que mejoren el escenario económico de la finca, así como ayudar a diseminar el conocimiento del procesamiento de carbón y de los hornos para fabricar carbón.

## **2.2 Definición del problema**

La mayoría de los aprovechamientos forestales en la zona, se dirigen muy en particular a la extracción de troza destinada al aserrío o diámetros mayores (rango desde 25 cm o mayor), algunos pocos buscan hacer flicht con las puntas o árboles delgados, destinado al mercado de pallets o tarimas, aunque con mucho desperdicio de lepas y aserrín. En muchos casos no se efectúa un aprovechamiento integral de todo el material proveído por el bosque, con diferenciación de productos de acuerdo al mercado, significando los productos marginales hasta un 40% del volumen total de la masa forestal. Este remanente queda prácticamente sin uso, tirado en el sitio y además, se tiene la práctica de quemar para poder limpiar el terreno y reforestar, principalmente en licencias comerciales con compromiso de reforestación.

La alta disponibilidad en campo de subproductos de diámetros menores y productos de especies latifoliadas marginadas de la industria generados por el corte de pino en bosques naturales y raleo de plantaciones, mantienen abierta una ventana de posibilidades y la búsqueda de alternativas tecnológicas y de nuevos nichos de mercado para dar salida a estos productos, permiten dar un uso más racional a los recursos naturales, que ya son limitados.

El mercado regional de leña depende del consumo doméstico en hogares e industrial en beneficios dedicados a secar café, cardamomo y otros, el precio es bajo y el consumo restringido a los géneros Quercus y Liquidámbar, pero, la demanda no es constante y ha bajado en los últimos dos años, por traslados de los beneficios de los centros urbanos hacia áreas rurales dentro de la región.

La leña como combustible tiene un potencial restringido en el tiempo, por sufrir deterioro y decaimiento de la madera por hongos, bacterias e insectos, por ello al convertirla en carbón, se puede prolongar sus posibilidades de uso en el tiempo e incrementar su capacidad energética, ya que mediante la carbonización de la leña se duplica el poder calorífico del combustible. Desde la antigüedad se ha fabricado carbón usando métodos muy artesanales y empíricos. La utilización de la tierra como escudo contra el oxígeno y para aislar la madera que se carboniza contra una pérdida excesiva de calor, es el sistema más antiguo de carbonizar y con seguridad se remonta al amanecer de la historia. Aún en la actualidad se usa para hacer quizás, más carbón vegetal que por cualquier otro método.

En la zona de las Verapaces la actividad de fabricación de carbón local, es rudimentaria, focalizada, empírica y comparada con otras regiones del país, resulta muy baja, siendo efectuada en municipios de Baja Verapaz, mediante el uso de trincheras o fosas, enterrando el carbón, con muy bajo rendimiento de conversión entre 10 y 13%, es decir, obteniendo una parte de carbón por cada 8 o 10 partes de leña utilizada, lo cual representa un alto desperdicio de proceso. La tecnología disponible de hornos de carbón tiene varias décadas de haberse originado, sin embargo en Guatemala, han sido muy poco difundidos y mucho menos, adoptados por los productores. Los hornos carboneros son totalmente desconocidos en la zona.

La comercialización del carbón se abastece de otras regiones del país, ya que el departamento no es productor, se efectúa rudimentariamente a granel desde depósitos mayoristas en el mercado local y distribuido a mercados rurales y cantonales, tiendas y abarroterías en bolsa pequeña o por "medida". Recientemente, el crecimiento de dos supermercados ofrece, varias marcas de carbón de tres y cinco libras por bolsa de papel, así como también briquetas.

En Chilax se ha generado un exceso de productos marginales por los aprovechamientos primarios, por los raleos impostergables de las nuevas plantaciones forestales y la restricción generalizada del mercado para leña en la zona han magnificado este efecto, por lo que la prueba y adopción de procesos tecnológicos para la producción de carbón, visualiza una salida viable con mejores posibilidades de mercado y de ingresos para la finca.

### 2.3 Justificación

Finca CHILAX se encuentra en el centro de las Verapaces, en jurisdicción del municipio de San Juan Chamelco, del departamento de Alta Verapaz, el área es resultado de procesos socioagrícolas pasando de ser bosques a terrenos bajo cultivo y posterior abandono; o pasando de cultivo en cultivo. Chilax como finca no ha sido la excepción; fué una finca agrícola donde los colonos hacían siembras de subsistencia y tenía café y bosque natural de coníferas y mixto. Luego pasó a ser una unidad ganadera durante doce años con algunos cultivos agrícolas con objetivo comercial a manera de ensayos y un proceso de repoblación forestal voluntaria en las laderas montañosas; hasta quedarse sin actividad productiva durante la década de los '90s. A lo largo de este proceso cambio varias veces de propietarios, hasta que en el año 2000 pasó a ser propiedad de la Entidad CHILAX, Sociedad Anónima, la cual es su propietaria actual.

Durante el año 2000 se efectuó un inventario forestal general y se planteó un plan de manejo con fines de aprovechamiento forestal en cinco turnos de corta, de los cuales, a la fecha se está ejecutando el tercero. Este plan solamente consideró la extracción primaria para trozas de aserrío y el cálculo de producción de "leña" asciende a 9200 m<sup>3</sup> para todo el plan.

Durante los dos años anteriores se ha hecho el esfuerzo de colocar en el mercado productos de madera de pino de bajo diámetro (entre 10 y 25 cm.) y longitud corta (de 1 a 2 mts.) a mercados diferenciados para la producción de tarimas, partes de muebles, armazones de camas y cajas tomateras. Esto ha permitido colocar adicionalmente en plaza un 10% más del volumen considerado comercial (60%), dejando latente el reto de utilizar racional y empresarialmente el restante 30% del inventario.

El volumen remanente por diámetro bajo o mala calidad de lo aprovechable como troza comercial, actualmente se integra principalmente por madera de pino en un 50% (Pinus maximinoii), seguido por 20% de roble o encino (Quercus Ssp.), aproximadamente 20% de liquidámbar y 10% en los que se mezclan otras especies.

En la búsqueda de opciones viables, tomando en cuenta la estacionalidad y preferencias de la demanda de leña, se ha considerado establecer una prueba piloto con el procesamiento de

carbón de manera tecnificada, a escala, en un horno mejorado, de construcción artesanal que permita la obtención de un producto con buena calidad industrial, que proporcione valor agregado y permita incrementar el rendimiento de conversión de leña a mayor cantidad de carbón, para poder insertarse en el mercado nacional con este producto y sea un canal al aprovechamiento integral y sostenible del bosque que mejore el flujo de caja de la unidad productiva.

## **2.4 Marco teórico**

### **2.4.1 Marco conceptual**

#### **2.4.1.1 Carbón vegetal**

El carbón es un término genérico para designar una gran variedad de materiales sólidos con un elevado contenido de carbono. En eras geológicas remotas, y sobre todo en el periodo carbonífero (que comenzó hace 362,5 millones de años), grandes extensiones del planeta estaban cubiertas por una vegetación abundante que crecía en pantanos. Muchas de estas plantas eran tipos de helechos, algunos de ellos tan grandes como árboles. Al morir las plantas, quedaban sumergidas por el agua y se descomponían poco a poco. A medida que se producía esa descomposición, la materia vegetal perdía átomos de oxígeno e hidrógeno, con lo que quedaba un depósito con un elevado porcentaje de carbono. Así se formaron las turberas. Con el paso del tiempo, la arena y lodo del agua se fueron acumulando sobre algunas de estas turberas. La presión de las capas superiores, así como los movimientos de la corteza terrestre y, en ocasiones, el calor volcánico, comprimieron y endurecieron los depósitos hasta formar carbón, conocido como carbón mineral o carbón de piedra. Los yacimientos más importantes están en Rusia, Estados Unidos, Polonia y Alemania.

Los diferentes tipos de carbón se clasifican según su contenido de carbono fijo. La turba, la primera etapa en la formación de carbón, tiene un bajo contenido de carbono fijo y un alto índice de humedad. El lignito, el carbón de peor calidad, tiene un contenido de carbono mayor. El carbón bituminoso tiene un contenido aún mayor, por lo que su poder calorífico también es

superior. La antracita es el carbón con el mayor contenido en carbono y el máximo poder calorífico. La presión y el calor adicionales pueden transformar el carbón en grafito, que es prácticamente carbono puro. Además de carbono, el carbón contiene hidrocarburos volátiles, azufre y nitrógeno, así como diferentes minerales que quedan como cenizas al quemarlo (2), (8).

Cuando la madera u otros residuos vegetales son incinerados o quemados, quedan como residuo sólido solamente cenizas, para lo cual necesita estar en pleno contacto con el oxígeno del aire. Si a este proceso se le controla la entrada o disponibilidad de oxígeno, se logra un proceso de “**pirólisis**”, que hace que la madera se descomponga químicamente, para dejar un residuo sólido llamado carbón vegetal y no se quemara simplemente en cenizas. El carbón propiamente dicho es entonces el residuo cuando se “carboniza” o se “hidroliza” la madera en condiciones controladas, en un espacio cerrado, sin entrada de aire, como sucede en un horno de carbón o “carbonera” (2), (4).

#### **2.4.1.2 Proceso de carbonización**

La madera tiene una composición química bien conocida, en donde los componentes principales mayores de la pared celular son: celulosa, hemicelulosa, lignina; otros componentes en menores y variadas cantidades son almidón, pectina, cenizas y extraíbles en agua y algunas otras materias que están fuertemente ligadas entre sí. El agua es absorbida o retenida como moléculas dentro de la estructura celulosa / lignina. La madera en crecimiento, recientemente cortada, contiene además agua líquida, llevando el contenido total de agua alrededor del 40 – 100% de humedad, expresado en porcentaje referido del peso de la madera totalmente seca o anhidra (al horno) (3), (2). La madera secada al aire contiene aún de 12 - 18% de agua absorbida.

Antes de que la carbonización ocurra, el agua en la madera tiene que ser totalmente eliminada como vapor. Se necesita una gran cantidad de energía para evaporar el agua, por lo que el presecado de la madera con el sol antes de la carbonización, mejora mucho la eficiencia. El agua que queda en la madera deberá ser evaporada en el horno, y esta energía deberá proporcionarse quemando parte de la misma madera, siendo una reacción endotérmica (2), (4).

El primer paso, en la carbonización dentro del horno, es calentar y secar la madera, para extraer el agua residual y hasta que esta operación se complete, la temperatura de la madera se mantiene en alrededor de 100 °C – 110 °C. Una vez que la madera se ha secado, su temperatura aumenta y el oxígeno del aire presente en el horno será gastado en la quema de parte de la madera, que de esta manera se pierde (2), (4).

La madera con temperatura cercana a los 270°C comienza a descomponerse espontáneamente o a fraccionarse. El proceso de pirólisis una vez iniciado, continúa por su cuenta y descarga una notable cantidad de calor (reacción exotérmica), sin embargo, esta descomposición por pirolisis o termal de la celulosa y de la lignina, que constituye la madera, se transforma en: carbón, más vapor de agua, ácido acético, y compuestos químicos más complejos, fundamentalmente en la forma de alquitranes y gases no condensables, que consisten principalmente en hidrógeno, monóxido y bióxido de carbono. Estas sustancias se liberan gradualmente a medida que aumenta la temperatura, y la evolución se completa alrededor de los 400°C.o más (2), (4)

El residuo sólido, carbón vegetal, el cual fundamentalmente está compuesto de carbono alrededor del 70%, las materias volátiles cubren 30% restantes con pequeñas cantidades de sustancias alquitranosas, que pueden ser separadas o descompuestas completamente, sólo al aumentar la temperatura a más de los 600°C. Si el proceso alcanza los 500°C se puede tener un carbón vegetal con un contenido de 85% de carbono fijo, un 10% de materias volátiles y cerca del 5% de cenizas (2), (4).

En realidad, no se requiere aire en el proceso de la pirólisis, en efecto los métodos modernos tecnológicos de producción de carbón de leña, no permiten entrada de aire; la consecuencia es un mayor rendimiento de conversión de leña a carbón, no se quema exceso de madera y se facilita el control de la calidad del producto obtenido. Cuando termina la pirólisis, se deja que el carbón vegetal se enfríe lentamente dentro del horno sin acceso de aire, ya que propiciaría una incineración total. Hasta que la temperatura baje a 60 °C se puede descargar el horno sin peligro, el carbón fresco debe dejarse al aire durante unos dos días, en apilados de no más de 1.5 m de alto para evitar incineración espontánea, después de eso está listo para su uso, almacenamiento o transporte (2), (4).



### 2.4.1.3 Propiedades del carbón vegetal

El carbón vegetal presenta variadas características o propiedades que lo hacen importante según sea el uso al que se le ha destinado; importando algunas más y otras menos. En resumen se cataloga por su composición química, su resistencia mecánica, reactividad, densidad aparente y porosidad, así como por su poder calorífico. Es un producto difícil de adulterar, no se deteriora en el depósito y su único “defecto” es su friabilidad. Hecho por el cual se rompe o se hace polvo durante el manipuleo y el transporte. Hay variaciones de calidad en relación con su contenido de carbono fijo (2), (4).

Un carbón vegetal que se ha carbonizado a baja temperatura tiene un alto contenido de materias volátiles y un menor contenido de carbono fijo; corroe los metales, el papel, las fibras y el material de empaque (pero no las bolsas de tejido plástico) arde rápidamente y tiende a dar mucho humo cuando se quema. No se desintegra tan fácilmente (Poco friable), y por ello se puede transportar y manosear sin producir una excesiva cantidad de finos (polvo de carbón o carbonilla) (2), (4).

Por otro lado, el carbón vegetal carbonizado a altas temperaturas, tiene un elevado contenido de carbono fijo, bajo contenido de volátiles y es mucho más friable. Este carbón arde limpio sin humo, aunque puede resultar difícil encenderlo (2), (4).

La densidad del carbón es importante por el volumen que puede ocupar determinado peso, en materia de transporte o almacenamiento y su uso en altos hornos de siderurgia. La medida de la densidad es difícil en la medida que varía de acuerdo a su porosidad y granulometría o al tamaño y calidad de las piezas de carbón, la densidad de la especie que le dio origen y la temperatura del proceso de carbonización. Generalmente se determina la densidad aparente referida al peso en kilogramos de un metro cúbico de carbón, considerando el espacio aéreo entre todas las piezas y el espacio aéreo dentro de los poros. La densidad se maneja a granel o “bulk density” y su promedio está alrededor de 250 kg/m<sup>3</sup> (2), (4).

Como fue mencionado anteriormente, ocurre entre los 300 y 500°C una pérdida de masa debido a la liberación de materias volátiles, sin haber una disminución significativa de las dimensiones

de la pieza de carbón. En función de eso, se puede esperar que un carbón producido a 300°C sea más denso que un carbón producido a 500°C. Sin embargo en el rango de temperatura de los 500 a 700°C a pesar de ocurrir una pérdida de masa, se realiza una constricción bastante significativa en las dimensiones del carbón, que nuevamente aumenta la densidad aparente del carbón. Sería muy recomendable que la compra-venta del carbón se realizara exclusivamente por volumen, con lo que se desanima que le sea agregado agua o piedras o polvo, para aumentar el peso (2), (4).

Otra de las propiedades talvez más importantes es el poder calorífico que concentra el carbón vegetal. Es su habilidad de aportar energía mediante su incineración como combustible, tanto a nivel de cocinas domésticas, como para sistemas de calefacción, procesos industriales de mediana y gran escala (2), (4).

Se define el poder calorífico de un combustible, con el número de calorías liberadas en la combustión completa de una unidad de masa del combustible, siendo expresado en Kcal/kg para combustibles sólidos. El valor calorífico de la leña varía desde unos 2,800 a 4900 Kcal/kg, que al transformarse en carbón ésta energía, se concentra por unidad de peso y se eleva a rangos entre los 6,500 a 8,300 Kcal/kg, lo cual depende de la especie, su densidad específica, contenido de lignina y otros aceites esenciales.

Generalmente se determina el poder calorífico del carbón en forma experimental mediante un aparato de laboratorio conocido como bomba calorimétrica. Esta propiedad también varía proporcionalmente de acuerdo a la densidad de la especie original y es mayor cuando se produce carbón a 500 °C que cuando se produce a 300 °C y a 700 °C, aunque siempre es mayor en el carbón logrado con 700 °C que con 300 °C (2), (4).

El producto intermedio "ideal" en sus características de calidad, es aquel, que cuando seco, tiene un contenido de carbono fijo de alrededor 75%; un contenido de volátiles del 20%; de cenizas cerca del 5%, y una densidad aparente de alrededor de 250-300 kg/m<sup>3</sup>, unidos a un alto poder calorífico si se quiere para combustible (2), (4).

#### 2.4.1.4 Productos y subproductos de la carbonización

Por acción del calor, cualquier vegetal sufre un proceso de descomposición; con la presencia de aire, este proceso es acompañado por la combustión, los volátiles generados darán origen a las llamas, en cuanto al sólido remanente, sufrirá una combustión incandescente. Pero, cuando es realizado en una atmósfera pobre en oxígeno, la extensión de las reacciones de combustión será controlada, tornando posible la obtención de los productos inicialmente generados por la descomposición térmica. La carbonización de la madera también envuelve fenómenos demasiado complejos, que posibilitan la generación de un número elevado de compuestos químicos, distribuidos en cuatro fases, como sigue:

- a) Fase gaseosa Es una mezcla gaseosa combustible, conteniendo dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, metano, etileno, etc., siendo más conocidos como “gases no condensables” --GNC--.
- b) Fase acuosa o piroleñosa Es una solución acuosa de color castaño amarillenta, ácido acético, metanol, acetona y alquitrán soluble (alquitrán B), son algunos de los varios compuestos disueltos en aproximadamente 80% de agua.
- c) Fase aceitosa Consiste en una mezcla de color negro, densa y viscosa, con decenas de compuestos. Se separa por decantación de la fracción acuosa. Es conocida como alquitrán A y es insoluble.
- d) Fase sólida Residuo sólido carbonoso remanescente. El carbón vegetal, en los procesos usuales es el producto de mayor interés comercial.

La velocidad de la carbonización será el resultado de la combinación de las variables temperatura y tiempo y junto al tiempo de permanencia de los volátiles en la zona de reacción, temperatura final de carbonización y porcentaje de oxígeno libre en el ambiente, determinan la distribución y calidad de los productos formados (2), (4).

La carbonización produce sustancias que pueden ser dañinas y deben tomarse simples precauciones para reducir el peligro. El gas producido por la carbonización tiene un elevado contenido de monóxido de carbono, que es venenoso cuando se lo respira. Por lo tanto, cuando se trabaja en la vecindad del horno durante su funcionamiento o cuando se abre el horno para su descarga, debe tenerse cuidado de asegurar una correcta ventilación para permitir que se disperse (2), (4).

Los alquitranes y el humo producidos por la carbonización, si bien no son directamente venenosos pueden tener efectos perjudiciales a largo plazo sobre el sistema respiratorio. Las baterías de hornos no deberán ser emplazadas muy cerca de las áreas habitadas (2), (4).

Los alquitranes de la madera y el ácido piroleñoso pueden irritar la piel y debe tenerse cuidado al contacto prolongado proporcionando trajes y equipo de protección que reduzcan al mínimo la exposición (2), (4).

Los alquitranes y los licores piroleñosos si escurren pueden contaminar en forma grave los cursos de agua. Los efluentes líquidos y el agua de descarga de operaciones carboneras de media y gran escala deberán ser retenidas en piletas de sedimentación para que evaporen y evitar percolar el suelo o llegar a mantos freáticos (2), (4).

Afortunadamente los hornos y fosas, contrariamente a otros sistemas sofisticados, normalmente no producen efluvios líquidos: los subproductos se dispersan en su mayor parte en el aire, como gases.

De los subproductos de la fabricación del carbón, los alquitranes son los que tienen una manera de ser recuperados y con aplicación energética como combustible, por su poder calorífico y viscosidad, puede ser utilizado en equipos de calderas y hornos sin muchos problemas técnicos y sustituir al Diesel de origen fósil (2), (4).

## 2.4.1.5 Formas de fabricar carbón

### 2.4.1.5.1 Fosas y parvas

Desde la antigüedad se ha fabricado carbón usando métodos muy artesanales y empíricos. La utilización de la tierra como escudo contra el oxígeno y para aislar la madera que se carboniza contra una pérdida excesiva de calor, es el sistema más antiguo de carbonizar y con seguridad se remonta al amanecer de la historia. Aún en la actualidad se usa para hacer quizás, más carbón vegetal que por cualquier otro método. Tiene muchos inconvenientes pero retiene obviamente su lugar por sus ventajas de bajo costo. Donde sea que los árboles crecen hay tierra, y es natural que el ser humano se ha orientado a este material barato e incombustible, como material aislante para encerrar la madera mientras se carboniza (2), (4).

Hay dos modos comunes de usar la tierra como barrera en la fabricación de carbón vegetal; una es la de excavar una Fosa o Trinchera, rellenarla de madera y taparla con la tierra excavada para aislar la cámara. La otra es levantar una Pila (llamada parva) de madera sobre el suelo, tapar con tierra como aislante para impermeabilizar a los gases. En la mayoría de casos estos métodos dependen de la habilidad del carbonero para obtener un buen carbón, dentro de sus limitaciones tecnológicas aunque sea de baja eficiencia (2), (4).

Las fosas y parvas no tienen medida estándar y se pueden construir desde 1 metro cúbico y obtener carbón en dos días, hasta fosas muy grandes que pueden tardar hasta tres meses en su proceso de carbonización y enfriamiento. La inversión en capital es mínima; no necesita nada más que una pala, un hacha y una caja de fósforos, pero lamentablemente, es un sistema de alto desperdicio y derroche del recurso forestal, ya que la mayoría de veces tiene una relación de 1:8 en algunos casos se logra una parte de carbón de regular calidad por 6 partes de leña usada. Esto se debe a que es difícil controlar la circulación de los gases en la fosa, mucha madera se quema totalmente por que le llega demasiado aire y otra queda parcialmente carbonizada (tizones) porque no se calienta y seca correctamente (2), (4).

Un problema adicional con las fosas y parvas es la reabsorción de los ácidos piroleñosos, porque tiende a concentrarse en el follaje y en la tierra, usados para tapar el carbón. Cuando caen fuertes lluvias viene el lavado por percolación y es absorbido por el carbón y por el suelo profundo. El carbón así produce humo desagradable al quemarse. Las fosas se usan pocas veces ya que siguen la disponibilidad del recurso forestal. Las parvas se usan en lugares donde el suelo es muy rocoso o el nivel freático está muy cerca (2), (4).

Estos métodos han sido estudiados y se les ha tratado de hacer mejoras, introduciendo el uso de chimeneas externas o centrales con lo que se ha mejorado la velocidad y calidad de carbonización y han sido el paso hacia el diseño de hornos para producir carbón (2), (4).

#### **2.4.1.5.2 Hornos carboneros**

Existen una serie de diseños de hornos usados en todo el mundo desde pequeños, medianos y grandes. Desde los de bajo costo, hasta los más sofisticados, de altos costos de construcción y mantenimiento. Los hornos más comunes y adaptables a nuestra realidad son los de mampostería de ladrillo, también llamados de albañilería, sin embargo los hay de otros materiales como concreto armado, de metal, inclusive portátiles (2), (4).

Para tener éxito, el horno de ladrillo debe satisfacer una cantidad de requisitos importantes. Tiene que ser sencillo en su construcción, que las tensiones térmicas al calentarse y enfriarse, relativamente no lo afecten, y que sea suficientemente robusto para aguantar las tensiones mecánicas de la carga y descarga. Por un período de seis a diez años no se perjudican a causa de las lluvias o del clima (2), (4).

Se debe poder, en cualquier momento, controlar la entrada de aire y durante la fase de enfriamiento, sellar el horno rápida y herméticamente para impedir el ingreso de oxígeno a la cámara. El horno debe permitir –por ser relativamente liviano- un enfriamiento fácil y asegurar un buen aislamiento térmico a la madera sometida a carbonización, puesto que de lo contrario se producirían puntos fríos por el golpe del viento sobre las paredes del horno, que impide la combustión correcta del carbón y una producción excesiva de tizones y bajo rendimiento. La

capacidad del horno de ladrillo de conservar el calor de carbonización, es una razón importante de su gran eficiencia en la conversión de madera a carbón vegetal (2), (4).

Los hornos de ladrillo, construidos y operados correctamente, representan sin duda uno de los métodos más efectivos para la producción de carbón vegetal. En el curso de varias décadas de uso, estos hornos han demostrado ser una inversión de capital moderada, requerir poca mano de obra y poder dar rendimientos sorprendentemente buenos de carbón de calidad apta para todos sus usos industriales y domésticos. Pueden ser construidos en tamaños medianos a grandes con materiales locales (2), (4).

Entre los diseños más conocidos y difundidos en el mundo y de los cuales se tiene suficiente literatura se pueden mencionar:

- a) Horno de media naranja: Es de forma semiesférica semeja la mitad de una naranja, con diámetros que varían desde 3 a 7 metros con capacidad desde 20 a 48 m<sup>3</sup> de leña, de una o dos puertas para carga y descarga, hay modelos con y sin chimenea en la cúpula. Bien manejado reporta rendimientos de conversión de 1 parte de carbón obtenido por cada 3.75 partes de leña usadas (2), (4), (figura 2A).
- b) Horno de superficie: Horno de albañilería de pared en forma cilíndrica de 1.8 metros de altura y una copa en forma de bóveda semicircular con una altura total de 3.1 m, con 5 m de diámetro tiene capacidad para 36 m<sup>3</sup> de leña. Se construye con dos puertas para carga y descarga. Este modelo tiene una chimenea externa lateral con tiraje central. Rendimientos de conversión de 1:3,
- c) Horno de superficie con cámara externa: Tiene las mismas dimensiones y especificaciones que el diseño anterior, con la principal diferencia que posee una cámara externa de combustión, con la cual se conducen los gases y el calor hacia el interior del horno para elevar la temperatura y lograr la carbonización, sin quemar parte de la leña dentro del horno. No posee entradas de aire, solamente los ductos de calor y la chimenea lateral. Es de uso más sencillo pero su costo es mucho mayor. Rendimientos de conversión de 1:2.5

- d) Horno colmena brasileña: Es muy parecido al horno de superficie con pared cilíndrica con techo en forma de cúpula o domo. Tiene dos entradas. Con diámetro de 5 m y altura total de 3.1 m. Tiene capacidad para 45 m<sup>3</sup> de leña. Este diseño posee seis chimeneas laterales distribuidas uniformemente con 18 entradas de aire. Un agujero en la parte superior del domo para el encendido inicial. Se requiere mucho control para manejarlo adecuadamente. Rendimientos de conversión hasta 1: 1.6
- e) Horno de colmena, de colina o barranco: Similar en dimensiones al de Colmena Brasileño, combina una trinchera en una ladera o colina (sin pared de ladrillo) con un domo de ladrillo con tres chimeneas. El horno de 4 m de diámetro y 2.45 m de altura tiene capacidad para 25 m<sup>3</sup> de leña. Rendimientos de conversión de 1:2.2.
- f) Horno Missouri: Es un horno grande construido de concreto armado de forma rectangular, que pueden variar en tamaño de hasta 350 m<sup>3</sup> de capacidad de leña. En promedio se construyen de 180 m<sup>3</sup>, con dimensiones de 7 metros de frente por 11 m de fondo con paredes de 2.5 m de alto y techo abovedado de hasta 4 metros de alto. Tiene 8 chimeneas. La carga y descarga es en forma mecanizada. El rendimiento en conversión es similar al de naranja 1:3.
- g) Hornos metálicos: Generalmente son portátiles y de tamaño pequeño. De 2 m de diámetro y 2.4 m de altura, de forma cilíndrica y cúpula en forma de cono, tiene 4 chimeneas. No tienen mucha durabilidad 2 –3 años. Su costo es relativamente alto. El rendimiento en conversión es de 1:4 o 1:5 referido a la madera usada (2), (4).

#### **2.4.2 Marco referencial**

En el Capítulo uno, sección 1.5 Resultados, de este documento como parte del diagnóstico se dejó asentada extensa información y se encuentra toda la descripción física de ubicación, accesos, clima, suelos, relieve y recursos naturales con que cuenta la finca, así como los aspectos sociales y de actividades productivas que se realizan dentro de la unidad productiva.



### 2.4.3 Especies forestales seleccionadas

A continuación se describen brevemente las tres especies forestales seleccionadas para su utilización y ensayo en el proyecto de carbonización en el presente estudio.

#### 2.4.3.1 Pino

Nombre común que reciben las especies de coníferas del género *Pinus* que presentan hojas aciculares y persistentes, dispuestas en haces de 2, 3 o 5 acículas. Son árboles resinosos, de tronco derecho, con ramas dispuestas en pisos que dan una copa en forma cilíndrica o piramidal, la corteza es rugosa en forma de escamas, con inflorescencias masculinas productoras de polen e inflorescencias o piñas femeninas que lignifican al madurar y que producen las semillas.

El género del *Pinus* es el más amplio de la familia de las Pináceas, con unas 110 especies. Los pinos son originarios de las zonas templadas y mediterráneas de Europa, Asia y Norte y Centroamérica, así como el Caribe, principalmente en áreas montañosas. Viven en hábitats muy variados, desde el nivel del mar hasta altitudes de 4.000 m, y se diferencian de otros géneros de la familia por las hojas, dispuestas en haces. Cada uno de éstos agrupa un número fijo de agujas o acículas (que depende de la especie), envueltas por la base en una vaina de hojas cortas escuamiformes (8).

En los bosques de finca Chilax la especie con mayor importancia por frecuencia y dominancia es el *Pinus maximinoii* Moore, también conocido como *P. tenuifolia*. (5) Está estrechamente relacionado con *P. pseudostrobus*, sin embargo, tiene características propias. Es conocido comúnmente como pino candelillo. Presenta árboles de hasta 48 m de altura, con diámetros de hasta más de un metro. La corteza en árboles jóvenes es lisa, de color gris, los adultos tienen la corteza surcada longitudinalmente, áspera, tosca de color café-grisáceo. Hojas en grupos de 5 por fascícula, de 16 a 28 cm de largo, finas flexibles y colgantes. Produce conos oblongos o largamente ovoides, aplanados asimétricos en la base de 6 a 10 cm de largo, deciduos (9), (5).

La madera tiene múltiples usos, tanto en la construcción como en la carpintería. Buen potencial para producir pulpa por su rápido crecimiento. La madera es liviana, blanda de color blanco amarillento con poca resina. Como combustible el poder calorífico de la leña de pino es de 3400 Kcal/kg. Esta especie requiere suelos buenos y profundos. No es resistente a la pudrición e insectos, por lo que necesita ser tratada para lograr esa característica (9), (5).

### **2.4.3.2 Liquidámbar**

Es el nombre común de la especie Liquidámbar styraciflua L., es uno de los miembros de la familia Hamamelidácea. Muchas especies de esta familia se usan como ornamentales, porque florecen al principio de la primavera, y algunas incluso durante el invierno; también se cultiva como ornamental por su curioso fruto, por las llamadas bolas dulces de liquidámbar y por el follaje otoñal que en la parte de las Verapaces es caducifolio.

Se han encontrado diversas aplicaciones de interés económico, como en cosmética y en la elaboración de linimentos y coagulantes se utilizan extractos de sus hojas y su madera. El liquidámbar forma una madera densa y de veta apretada algunas veces utilizada en ebanistería, sin embargo en la región es apreciada particularmente para su uso como leña, postes de cerco, para vigas y tendales rollizos de techos rústicos por su crecimiento recto lo utilizan como vigas, horcones, tabla para pared y pisos en algunos casos; en general se encuentra en casas habitación hechas con madera de liquidámbar, de gran duración, según los usuarios, si no se moja.

Con madera de Liquidámbar se elaboran enseres domésticos, sillas, camas, roperos y muebles en general. La utilizan también como postes para cercas de corrales, delimitación de terrenos de la casa y de potreros.; no hay aceptación de su madera por parte de la industria forestal, derivado de la tendencia a torcer, rajar y poca durabilidad (9).

### 2.4.3.3 Roble o Encino

Nombre común de un extenso género de árboles de madera dura, está ampliamente difundido con distintas especies tanto en Europa, como en América. Los Robles o Encinos pertenecen al género *Quercus*, de la familia de las Fagáceas, son caducifolios marcescentes (conservan la hoja todo el invierno y la pierden al principio de la primavera). (9) El género *Quercus* engloba unas 800 especies a nivel mundial, frecuentemente no bien diferenciadas entre sí y con una gran facilidad para hibridar, llegando a cerca de 500 las que tienen como denominación común la palabra roble. Se calcula que el Roble está presente en más del 85% de la extensión que abarcan los bosques caducifolios del continente americano. El mayor centro de diversificación de este género se encuentra en México y California. En Guatemala existen alrededor de 35 especies del género *Quercus*.

Los Robles se diferencian de otras especies pertenecientes a la familia de las Fagáceas por diversas características botánicas, como las flores diminutas y agrupadas en inflorescencias, pero se identifican con facilidad por el fruto, llamado glande o bellota, y por sus hojas, ovaladas con el contorno lobulado. La bellota es también ovalada, y presenta una estructura con forma de boina denominada cascabillo, con escamas triangulares, casi planas (9).

El Roble forma una madera duradera, tenaz, muy apreciada. Se emplea en ebanistería, tonelería, fabricación de tablas para tarimas y suelos de parqué y obtención de chapas. De la corteza del alcornoque (*Q. suber*), muy gruesa y esponjosa, se obtiene el corcho. Diversas especies producen taninos (concentrados muchas veces en las agallas), utilizados por la industria del curtido de pieles, y de la corteza de otras se extraen tintes, así como de las agallas, que son las tumoraciones desarrolladas como respuesta a la picadura y puesta de muchos insectos. Uno de ellos, la cochinilla, es un insecto que forma unas agallas en las coscojas (*Q. coccifera*), de las cuales se extrae el colorante **carmesí**, muy apreciado en la antigüedad (9).

El Roble americano (*Q. alba*) es muy apreciado por su madera, ya que con ella se fabrican las mejores barricas para la crianza de vinos en Europa y América. Una variedad de éste se extiende a lo largo de la zona atlántica de Norteamérica. Por su parte, el roble blanco (*Q.*

virginiana), nativo de América del Sur, también se aprovecha para fabricar barriles y toneles donde reposan vinos y licores, además de que su madera es pesada y duradera, lo que lo convierte en un recurso forestal importante. La madera de Roble es ampliamente usada en el mundo como combustible, es una leña densa que forma buena braza con poca ceniza, tiene alto poder calorífico desde 4400 Kcal/kg. También es muy apreciado el carbón de ésta especie.

En los terrenos de Finca Chilax se encuentra presencia de al menos cuatro especies del género *Quercus*. Entre ellos *Q. alba*, *Q. corrugata*, *Q. brachistachys* Benth y posiblemente *Q. tristis* (5).

De los mencionados anteriormente el de mayor frecuencia es *Quercus brachistachys* Benth y fué la especie con la que se hizo las pruebas de carbonización junto a liquidámbar y pino candelillo en este ensayo.

## **2.5 Objetivos**

### **2.5.1 Objetivo general**

Establecer una muestra piloto para procesar carbón vegetal en horno mejorado, evaluar su calidad y aceptación, a partir de madera de 5 a 20 cm de grosor de tres especies forestales, en condiciones de la unidad productiva agroforestal Finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

### **2.5.2 Objetivos específicos**

1. Construir una unidad piloto de horno mejorado a nivel artesanal estilo “Media Naranja”, para producir carbón vegetal.
2. Comparar el rendimiento de conversión del carbón obtenido, de las tres especies forestales seleccionadas como materia prima.
3. Determinar y comparar propiedades físicas de densidad aparente y poder calórico del carbón obtenido de las tres especies forestales seleccionadas.
4. Efectuar un sondeo de la aceptación del carbón obtenido de las tres especies forestales seleccionadas, a nivel de consumidores industriales y domésticos.
5. Analizar el funcionamiento del horno “Media Naranja” durante el procesamiento del carbón de las tres especies ensayadas. Y recopilar información relativa al mercado local del carbón.

## 2.6 Hipótesis

En la presente investigación se trabajó con los siguientes supuestos:

### **H1 Nula:**

No hay diferencias significativas en las propiedades físicas y calidad del carbón en las diferentes especies forestales utilizadas. ni habrá rechazo ni preferencias exclusivas relacionadas con la especie, fuente de materia prima en el sondeo de aceptación con los consumidores,

### **H2 Alternativa:**

Sí hay diferencias significativas en las propiedades físicas y calidad del carbón en las diferentes especies forestales utilizadas y habrá rechazo o preferencia de al menos una especie, fuente de materia prima.

## 2.7 Metodología

### 2.7.1 Metodología experimental

#### 2.7.1.1 Tratamientos y material seleccionado

El experimento se desarrolló dentro de los terrenos de la finca Chilax, en San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

Se seleccionó como material experimental usar leña de las siguientes tres especies forestales: pino candelillo (Pinus maximinoii Moore), encino o roble (Quercus Brachistachys Benth.), y, liquidámbar (Liquidambar styraciflua L.). Cada lote de leña de cada especie forestal elegida se tomó como un tratamiento individual.

#### 2.7.1.2 Diseño experimental

Se empleó un diseño estadístico Completamente al Azar, en el que se tiene un experimento con 3 tratamientos, esto significa que fueron designados cada uno de los tratamientos a cada una de las especies forestales, definiendo realizar tres repeticiones de cada tratamiento específico.

Los diferentes tratamientos y sus repeticiones fueron asignados aleatoriamente, para escoger el orden en que se procesaron dentro del horno.

En el sorteo realizado se denominó tratamiento uno a la carbonización de madera de Liquidámbar, así mismo, tratamiento dos a la carbonización de madera de Encino y tratamiento tres a la carbonización de madera de Pino, como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tabla de aleatorización de tratamientos en proceso de carbonización en diseño estadístico completamente al azar.

ORDEN	TRATAMIENTO
1	T1-R1 LIQUIDAMBAR
2	T2-R1 ENCINO
3	T3-R1 PINO
4	T3-R2 PINO
5	T1-R2 LIQUIDAMBAR
6	T2-R2 ENCINO
7	T2-R3 ENCINO
8	T1-R3 LIQUIDAMBAR
9	T3-R3 PINO

### 2.7.1.3 Unidad muestral

Como la unidad muestral, se consideró a cada evento u hornada de carbón, teniendo un volumen total de 15 m<sup>3</sup>, los cuales estaban integrados por cada especie seleccionada.

### 2.7.1.4 Manejo del Experimento

#### 2.7.1.4.1 Construcción del horno

Dentro de los diferentes modelos existentes de hornos para fabricación de carbón, se seleccionó de las variantes del HORNO MEDIA NARANJA, el de las dimensiones más pequeñas (3 m de diámetro) ajustándose a los fines de la investigación, además, el costo constructivo de este elemento es de los más accesibles y su manejo correcto según lo reportado permite obtener



buenas tasas de conversión de leña a carbón. Su característica peculiar es la ausencia de chimeneas y es posiblemente el diseño más difundido de los hornos de carbonización (2), (3), (figuras 7A y 8A).

#### **2.7.1.4.2 Preparación de materia prima**

Simultáneamente a la adquisición de materiales para la construcción del horno, se cortó un total de entre 80 y 100 m<sup>3</sup> de leña de cada especie forestal seleccionada, para contar con suficiente material experimental para los tratamientos y sus repeticiones.

El material obtenido de cada especie forestal fué secado a la intemperie durante un mínimo de tres meses. El producto estaba estibado y protegido únicamente por un tapesco o cobertura de plástico que evitó que se moje con la lluvia. Se preparó leña de diámetros entre 5 y 20 cm. de grosor, de aproximadamente 50 cm. de largo.

#### **2.7.1.4.3 Elección y preparación del terreno**

El Horno Media Naranja, por su simplicidad constructiva y bajo costo, es recomendado para locales planos que no necesiten de mucho trabajo de preparación de terreno. Con la visión de construir una batería o conjunto de hornos, en la elección del sitio se tomó en cuenta que fuera un área amplia, además de considerar el espacio de almacenaje de leña y carbón.

El sitio donde se construyó es de pendiente suave, con buenas condiciones para el escurrimiento natural del agua de lluvia, de fácil acceso al transporte para leña y producto terminado y tiene agua disponible (figura 9A).

Después de haber nivelado perfectamente el terreno, se tuvo el cuidado de construir una canaleta para derivación de agua de lluvia alrededor del lugar escogido para el horno (2).

#### **2.7.1.4.4 Materiales de construcción**

El horno Media Naranja, seleccionado para este ensayo, se construyó utilizando ladrillos de barro cocido transportados desde El Tejar, Chimaltenango y argamasa de barro local de la finca, arena y agua (2).

Los materiales usados fueron:

2,000 ladrillos de 5 x 10 x 20 cm.

1 m<sup>3</sup> de barro

1.5 m<sup>3</sup> de arena

Agua

1 clavo de 5 pulgadas

Alambre de 2 metros de largo

2 sacos de 45 Kg de cemento

Sercha de madera de 2.4 m de largo, con una parte extensible

#### **2.7.1.4.5 Trazo y marcación del terreno**

En el terreno nivelado se hizo la marcación de la base. Para marcar la base se clava en el centro del local, una estaca de madera rolliza, amarrándose a ella un alambre liso. El alambre debe quedar flojo para poder girar alrededor de la estaca. Se estira el alambre y a 1.7 metros de la estaca se amarra un clavo grande y se gira alrededor de la estaca marcando un primer círculo en el suelo. Se repite la operación pero con el clavo amarrado a 1.5 metros de la estaca, así la base del horno será de 20 cm de espesor (2), (figura 10A).

#### 2.7.1.4.6 Proceso de construcción

Después de hacer el marcado, se procedió a cortar una cuneta entre ambos círculos marcados, bien nivelada. (figura 11A) La base del horno fué construida colándose dentro de la cuneta hileras de un (1) ladrillo de ancho, unidos con mezcla de barro y arena, hasta que por lo menos estuvo, una hilada más alta que el nivel del terreno hacia fuera. El piso interno debió compactarse y nivelarse a la altura de esta hilera. Se cubrió el piso con un terracreto que ayude a impermeabilizar el fondo del horno (figura 12A).

Como el horno “Media Naranja” no posee chimenea, para la entrada de aire y salida del humo se dejan en las paredes, varios orificios, bocas o ventanas que por su localización y medidas reciben el nombre en portugués de “tatus”, “filas” y “baianas”, que básicamente sirven para el control del proceso de carbonización (figura 13A).

Los tatus u orificios inferiores se dejan en la primera hilada de ladrillos después de la base, que está nivelada con el piso interno. Son nueve distribuidos en toda la circunferencia y son simplemente la falta de un ladrillo no colocado. La abertura será entonces de 10 cm ancho por 5 cm de alto (2), (figura 13A).

Sobre la base se levanta la pared o camisa de refuerzo, bien a plomo, con la altura equivalente a 7 hiladas y con una espesura igual a la base, o sea 20 cm del largo de un ladrillo. Para la construcción de la pared se utiliza una cercha de madera, que girando sobre una columna provisional hecha en el centro del horno, mantendrá uniforme el diámetro del mismo. Conforme se levanta la pared, también se va elevando la columna provisional. Desde la primera hilada se va dejando considerada la abertura de la puerta de 60 cm de ancho y que al final tendrá 1.60 m de alto, siguiendo la curvatura de la copa y sus costados reforzados (figura 13A).

La copa, que es la parte curva del horno, es construida con hiladas de ladrillo asentados a lo largo, dejando una espesura de pared de 10 cm y altura de 5 cm cada hilada (figura 14A). En la construcción de la copa, la concha es alargada 1 cm. a cada hilada asentada hasta la 40ª hilada (figura 14A).

En la 19ª. hilada están localizadas 10 (diez) filas o bocas con orificios de 10 cm de ancho por 5 cm de alto, después se continua con la copa hasta la hilada # 40; en esta línea se dejan 7 (siete) baianas o ventanas de 5 cm ancho por 10 cm de alto, distribuidas en la circunferencia. A partir de este punto se acentúa la inclinación de la copa tornándola más “achatada”, cerrando la parte superior con la forma característica del Horno Media Naranja. En los planos se da una mejor idea del proceso. Al final el horno tendrá una altura interna de 2.3 metros (figuras 14A y 15A).

En el asentamiento de los ladrillos se debe tener el cuidado de utilizar la menor cantidad posible de mezcla, lo suficiente para proporcionar un buen ajuste entre los ladrillos, especialmente en la copa. El horno construido con poca mezcla tendrá menor cantidad de entradas de aire, será de mantenimiento más fácil y tendrá mayor durabilidad. Algunos constructores recomiendan agregar cemento para la mezcla, logrando un terraceto pobre en cemento que mejora su resistencia a lo largo de la vida útil del horno (2).

Terminando el asentamiento de los ladrillos, el horno debe ser revestido. Se usa una argamasa con una mezcla de 25% de tierra y 75% de arena, se agrega suficiente agua a modo que quede como una “lechada” que se pueda aplicar salpicada o con brocha o un atado de ramas. El barro debe ser fino y usar lo suficiente para cubrir las imperfecciones de los ladrillos y las fallas de unión. De esta forma el revestimiento estará menos sujeto a hendiduras, contribuyendo para la mayor durabilidad del horno (2), (figura 16A).

#### **2.7.1.4.7 Secado y curado del horno**

Cuando las paredes y el piso del horno estaban recientemente terminadas, aún tiene mucha humedad, la cual debe ser eliminada paulatinamente. Se dice que en las primeras 3 – 4 hornadas el horno está “verde o inmaduro”, y hay que “curar” el horno, esto consiste en su secamiento lento, quemándose pequeñas cantidades de leña en el interior, por períodos prolongados y conduciendo las primeras hornadas más lentamente (figura 17A). Lo importante es que no haya aumentos bruscos de temperatura antes que el horno este completamente

seco. Este procedimiento disminuirá el apareamiento de grietas, aumentando su vida útil. Como preparación previa a iniciar el experimento o curado del horno se efectuaron tres hornadas, que sirvió a su vez para capacitación del personal, con leña extra no contemplada en el experimento, para que al iniciar el proceso de estudio ya se tenga minimizada la fuente de errores por manejo del horno.

#### **2.7.1.4.8 Operación del horno**

La operación del horno comprende su carga, esto es, la colocación de la leña en su interior, el cerrado de la puerta, también el encendido, la carbonización, el enfriado y la descarga del carbón.

La leña para carbón debe presentar una calidad de regular a buena, para que el rendimiento del proceso de carbonización y la calidad del carbón no sean perjudicados, debiendo abstenerse de usar leña mojada, recién cortada o podrida.

La utilización de leña lo más seca posible es para que se tenga una buena carbonización ya que el porcentaje de humedad influye directamente en el rendimiento de conversión del horno.

El carguío del horno con leña en largo y diámetro superiores, afecta en dejar una alta cantidad de tizones, es mejor usar piezas no mayores de 25 cm de diámetro y no más larga de 2 metros. En lo posible de las condiciones usar leña sin corteza para reducir producción de finos y cenizas. La leña para cada hornada se preparó, cubicándola en lotes de 15 m<sup>3</sup> estéreo, considerando el espacio aéreo entre los leños estibados, aunque se utilizaron entre 8 y 10 m<sup>3</sup> estéreo para cada carga del horno.

La carga del horno se inicia con las piezas largas colocadas de pie, tratando de ajustar piezas delgadas con gruesas para llenar los espacios lo mejor posible. Cuando se va avanzando en la madera apilada de pie se va colocando la leña más corta encima de esta, en forma acostada para lograr un trenzado y llenado de la copa del horno. Intercalar leños gruesos y delgados para dejar lo más compacto posible (2), (figura 18A).

En la colocación de la leña se debe evitar dejar tapadas las entradas de aire (tatus, filas y baianas).

Al terminar de cargar el horno se hace el cierre de la puerta usando ladrillos colocados unidos unos a otros sin argamasa, dejando una abertura en su parte superior para iniciar el encendido,

El encendido del horno se hace colocando en el agujero superior de la puerta, un material fácilmente inflamable, tales como ramas delgadas y secas, hojas, cáscaras, sobre lo cual se hecha una palada de brazas y se atiza el fuego para que “prenda”.

En el inicio de la combustión, el humo sale por el propio agujero del encendido y es de color blanquecino. Así que el humo se oscurece, lo que ocurrirá algunos minutos después del encendido, es señal que el “fuego ha pegado”. El horno ya está encendido y se puede completar el cierre de la puerta con ladrillos y se aplica argamasa sobre los ladrillos de la puerta para cerrar los espacios (2), (figura 19A).

Después de cerrado el agujero de encendido, el humo comenzará a salir por las ventanas superiores. Al principio el humo es blanco o de un color pardo, tornándose con el tiempo azulado en alguna de las ventanas. Cuando el humo se ha tornado azulado en una determinada ventana significa que la carbonización o frente de carbonización, ya alcanzó aquel punto y la ventana debe ser cerrada con un ladrillo y asentado con argamasa por fuera.

Como el frente de carbonización no alcanza todas las ventanas al mismo tiempo, ellas serán cerradas en momentos diferentes (figura 20A).

Con el avance de la carbonización, el humo sale por las filas. Inicialmente blanco o pardo y se va tornando azulado, lo que indica la aproximación del frente de carbonización a esa área.

El paso del frente de carbonización por la región de las filas (ventanas a mediana altura) debe ser comprobado, de manera visual y por sondaje. La presencia de brazas encendidas en una fila, significa que el frente de carbonización ya alcanzó ese punto, entonces con una sonda de

madera o metal lo suficientemente largo para alcanzar el centro del horno, se introduce por la abertura de la fila.

Si al introducir la sonda desde una fila en dirección al centro del horno, no se encuentra resistencia en la penetración, significa que el frente de carbonización ya alcanzó la región central. En este caso la fila debe ser cerrada con ladrillo y argamasa (2).

Si se tiene resistencia a la penetración de la sonda, indica la existencia de madera no carbonizada o semicarbonizada (tizones). En este caso cuando se nota la presencia de brazas en la fila, es necesario “escoriar la fila”, lo que significa reducir la entrada de aire, tapando parcialmente el agujero con un pedazo de ladrillo sin utilizar argamasa o lechada. Con esta precaución el frente de carbonización debe avanzar pero más despacio. Se debe volver a sondear más tarde la fila hasta el centro para constatar la carbonización de la región central, entonces se debe purgar completamente la fila con ladrillo y argamasa (2).

El mismo proceso se hace con todas las filas y con los “tatus” en la parte basal del horno. Al comprobar el humo azulado, la inspección ocular de presencia de brazas y el sondaje hacia el centro del horno, deberían estar cerrados todos los agujeros de entrada de aire o salida de humo.

Con el horno totalmente cerrado se procede a dar un embarramiento o revestimiento con la lechada de barro, y repetirla unas tres veces al día para evitar el ingreso de aire en agrietaduras durante el tiempo de enfriamiento.

La descarga del carbón sólo debe ser realizada después que se está totalmente seguro que el horno ha enfriado lo suficiente a menos de 60°C.

Para la abertura del horno se debe tener una provisión de agua suficiente (200 litros) por si surge incineración espontánea o un incendio dentro del horno, usando el agua para sofocarlo (figura 21A)

Después de deshornar el carbón, se limpia el horno y se inicia rápidamente otro ciclo con una nueva carga de leña, para aprovechar que el horno no enfríe totalmente.

Si hay producción de algunos tizones, estos deben ser separados y usarse en una siguiente hornada.

El proceso de carga, carbonización, enfriamiento y descarga lleva aproximadamente de 10 a 12 días por hornada (figura 22A).

#### **2.7.1.4.9 Toma de datos**

La sistematización de datos se mantuvo durante todo el ensayo, tomando registro de la ubicación de materia prima, peso inicial de la leña a cargar en el horno, peso del carbón total obtenido en cada hornada para determinar porcentajes de conversión.

Se llevó registro de la densidad aparente, además, se tomó muestras de 2 kilos de carbón en cada hornada para usarse en el análisis de determinación de poder calorífico, realizado en el laboratorio de Ministerio de Energía y Minas por medio del calorímetro específico para este análisis.

#### **2.7.1.4.10 Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento del horno es sencillo, los cuidados más importantes son:

- El embarramiento periódico del horno, tiene la finalidad de tapar grietas, que normalmente aparecen durante la carbonización, al sellar con el revestimiento se impide la entrada de aire a través de ellas, siendo requerido tres veces diarias durante la carbonización. Con el tiempo y después de varios embarramientos, la camada de revestimiento puede tornarse muy gruesa, siendo aconsejable rasparla, retirarla y rehacerla.
- Otro cuidado es la sustitución de ladrillos partidos o fallados, la sustitución inmediata de ladrillos damnificados evitará el aumento del área a ser rehecha



- Los puntos críticos son las entradas de aire y principalmente la puerta.

### **2.7.1.5 Variables de respuesta**

#### **2.7.1.5.1 Rendimiento de proceso**

Es la conversión de leña a carbón, el cual se logró tomando peso inicial de la leña utilizada en kilogramos y el peso del carbón obtenido en kilogramos. La relación del peso inicial y el peso final como porcentaje, expresa el rendimiento del proceso de cada hornada. Cuando cada horneada estuvo lista y la temperatura fué menor a 60°C se vació el horno. El carbón obtenido se pesó, incluyendo los finos para determinar el porcentaje de conversión de leña a carbón vegetal. .

#### **2.7.1.5.2 Densidad aparente**

Este se obtuvo en forma práctica en campo, pesando el contenido de una cajilla plástica (usadas comúnmente en agricultura), previamente aforada en su volumen. Se tomó el valor promedio de 5 mediciones efectuadas de cada hornada. Se expresa en kg/M<sup>3</sup>.

#### **2.7.1.5.3 Poder calorífico**

Calorías que posee el carbón, expresado en Kcal/kg. De cada hornada se tomó una muestra alícuota equivalente a 2 kilos de carbón para el análisis de determinación de poder calorífico en el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas, mediante una bomba calorimétrica y se hizo siguiendo la metodología de la normativa ASTM D-240. En el análisis de laboratorio también se determinó otras propiedades del carbón vegetal obtenido para sustentar mejor la evaluación de calidad, dejando registros expresados en porcentaje de humedad, cenizas y materias volátiles

por métodos gravimétricos y cantidad de carbono fijo por diferencia al restar de 100% los otros elementos componentes del carbón vegetal.

**Aceptación:** Del carbón obtenido en cada tratamiento se reservó un mínimo de 2 quintales debidamente empacado en bolsa de plástico y costal, con lo que se tuvo material para las pruebas de aceptación. Se efectuó un evento grupal de sondeo, para tipificar la aceptación o rechazo con 17 consumidores domésticos y 3 consumidores industriales, uniformizando la información recabada mediante una boleta con preguntas de respuesta cerrada a cada usuario entrevistado.

A los entrevistados se les brindó una muestra de cada carbón marcadas como A, B y C de tres kilogramos de peso de cada tipo de carbón y un producto arrancador de ignición para cada muestra. Se les pidió encender cada clase de carbón por separado pero simultáneamente para poder hacer comparaciones. También se les pidió llevar registro sobre cualidades tales como, velocidad de prendimiento del carbón, tiempo para tener braza plena, presencia de humo en la combustión, rechazo o gusto por el olor, calor generado usando la mano a 30 cm de distancia, prueba de cocción y sabor transmitido a tres pedazos de carne, tiempo total con brazas y otros.

## 2.8 Resultados y Discusión

### 2.8.1 Rendimiento de proceso

En el manejo del experimento se tuvieron los siguientes resultados en peso inicial de leña y peso final de carbón de cada hornada pudiendo calcular con estos datos, el rendimiento de conversión de leña a carbón, así como una relación del % de carbonilla o finos generados en cada caso, evidenciado en el cuadro 2.

Cuadro 2. Rendimiento de conversión de carbón vegetal en horno media naranja.

TRATAMIENTO	PESO INICIAL Kg	PESO FINAL Kg	PORCENTAJE CONVERSIÓN	RELACIÓN	FINOS %
T1-R1 LIQUIDAMBAR	2193	466.89	21.29	1 : 4.7	14
T1-R2 LIQUIDAMBAR	1955	388.26	19.86	1 : 5	17
T1-R3 LIQUIDAMBAR	2410	512.85	21.28	1 : 4.7	12
T2-R1 ENCINO	3010	792.53	26.33	1 : 3.8	8
T2-R2 ENCINO	3200	805.12	25.16	1 : 3.9	9
T2-R3 ENCINO	2950	726.88	24.64	1 : 4.1	10
T3-R1 PINO	2442	538.95	22.07	1 : 4.5	11
T3-R2 PINO	2712	526.67	19.42	1 : 5.1	9
T3-R3 PINO	2631	546.46	20.77	1 : 4.8	12

Según los datos anteriores, en general con el horno media naranja en promedio se obtuvo una relación de una parte de carbón por cada 4.5 partes de leña, es decir, equivalente a un 22% de rendimiento de conversión, promediando los rendimientos de todos los tratamientos. OLADE (2), reporta para hornos media naranja una relación de 1: 3.75, es decir 26.7% de rendimiento de conversión. Comparando los resultados generales obtenidos se está por debajo de lo reportado, aunque los rendimientos de encino llegaron casi al 98% del rango, (3). El rendimiento más bajo se tuvo en la producción de carbón de pino con 19.42% y las más alta se obtuvo en el carbón de encino con 26.33%. la madera de encino (*Quercus brachistachys* Benth) presenta un 18% más de eficiencia en su conversión a carbón que la madera proveniente de las especies forestales liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua* L.) y pino (*Pinus maximinoii* Moore.)

En cuanto a la obtención de carbón, se generó cierto porcentaje de finos, que por su tamaño de partículas no es utilizado y se compone de cenizas, polvo de carbón y pequeños pedazos de carbón no mayores de 25 mm, al hacer las mediciones, el porcentaje más alto se generó en liquidámbar con 17% y el carbón que produjo menos finos fué encino con 8%. FAO reporta rangos aceptables de finos entre 10 y 20% por lo que lo obtenido en este estudio esta ajustado a esos parámetros (4).

En promedio, en el horno se produce 11.3% de materiales finos, lo cual puede ser tomado como perdida en la operación ya que este residuo actualmente, no tiene aceptación ni uso entre los consumidores. Sin embargo, en la finca se ha empezado a usar para incorporar a árboles frutales como abono, siguiendo la recomendación de proyectos brasileños de formar "Terra Preta" (tierra negra) artificialmente, con la adición de carbón pulverizado.

Al efectuar el análisis de varianza de los resultados de rendimiento de conversión, habiendo establecido un criterio estadísticamente significativo de  $P < 0.01$ , se tiene que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de carbón producidos según el cuadro de ANDEVA, mostrado en el cuadro 3, basado en que el factor observado es mayor que el factor requerido.

Cuadro 3. Análisis de varianza del % de conversión de leña a carbón producido en horno media naranja.

<b>Fuente variación</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F observado</b>	<b>F Requerido</b>
Total	8	48.60			
Tratamientos	2	42.24	21.19	19.92**	10.92
Error	6	6.36	1.06		

Además se utilizó la prueba de Tukey por medio de la cual se realizó una comparación de medias, para establecer cual tratamiento marca la diferencia significativa, siendo el tratamiento con carbón de encino, el que estadísticamente es diferente y superior en conversión, como lo refleja el cuadro 4:

Cuadro 4. Resumen de agrupación de prueba de Tukey para % de conversión de leña a carbón.

<b>Especie</b>	<b>Rendimiento promedio %</b>	<b>Grupo Tukey</b>
Encino	57.6	A
Liquidámbar	48.0	B
Pino	39.8	B

### 2.8.2 Densidad aparente

Los datos reportados de densidad aparente se tomaron al vaciar cada hornada obtenida, lo que reduce la posibilidad que el carbón obtenido absorbiera humedad del ambiente. Los datos se muestran a continuación en el cuadro 5.

Cuadro 5. Densidad aparente de carbón vegetal obtenido en horno media naranja.

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>DENSIDAD APARENTE kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Densidad promedio por especie</b>
T1-R1 LIQUIDAMBAR	177.3	176.2
T1-R2 LIQUIDAMBAR	169.2	
T1-R3 LIQUIDAMBAR	182.0	
T2-R1 ENCINO	281.5	273.8
T2-R2 ENCINO	269.7	
T2-R3 ENCINO	270.1	
T3-R1 PINO	225.7	233.3
T3-R2 PINO	233.3	
T3-R3 PINO	240.9	

Las mediciones revelan que, en general el carbón obtenido con liquidámbar, es el de más baja densidad, con un promedio de 176.2 kg/ m<sup>3</sup>, el carbón de pino con una densidad intermedia de 233.33 kg/ m<sup>3</sup>, y el de mayor densidad es el carbón obtenido con encino con 273.8 kg/ m<sup>3</sup>. Lo reportado por FAO (4) para un carbón ideal en densidad aparente es del rango de 250 a 300 kg/m<sup>3</sup>.

En los tres tipos de carbón producidos, solamente el carbón de encino está dentro del rango ideal, pino esta cerca, sin embargo, el carbón de liquidámbar está muy por debajo, considerándolo entonces como carbón de baja densidad, el carbón de pino lo podemos clasificar como de mediana densidad y el carbón de encino es de alta densidad o adecuada, de acuerdo al estándar.

Al efectuar el análisis de varianza de los resultados de densidad aparente estableciendo un criterio estadísticamente significativo de  $P < 0.01$ , se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de carbón producidos, según los datos de ANDEVA acordes al cuadro 6.

Cuadro 6. Análisis de varianza de densidad aparente del carbón obtenido en horno media naranja.

<b>Fuente variación</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F observado</b>	<b>F Requerido</b>
Total	8	14717.48			
Tratamientos	2	14428	7214	149.51**	10.92
Error	6	289.48	48.25		

Por la diferencia estadística significativa encontrada, para establecer cuál tratamiento marca la diferencia significativa, se empleó la prueba de Tukey como lo refleja el cuadro de agrupación mostrado a continuación en el cuadro 7.

Cuadro 7. Resumen de agrupación de prueba de Tukey para densidad aparente del carbón.

<b>Especie</b>	<b>Densidad aparente kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Grupo Tukey</b>
Encino	273.8	A
Pino	233.3	A
Liquidámbar	176.2	B

Estadísticamente se demuestra que, tanto el tratamiento con carbón de encino como el tratamiento con carbón de pino, son iguales en densidad aparente y tienen marcada diferencia con el tratamiento de carbón de liquidámbar,

### **2.8.3 Poder calorífico**

Entre las propiedades físicas más importantes del carbón está la de liberar energía mediante la combustión, es por ello, que los combustibles sólidos como el carbón se miden a través de su poder calorífico, expresado en Kcal/kg; se determinó el poder calorífico de cada muestra, siendo debidamente embaladas, trasladadas y analizadas 9 muestras en total (una por cada tratamiento) En el cuadro 8 se presentan los resultados reportados por el laboratorio del MEM, del análisis específico de cada muestra de carbón,



Cuadro 8. Propiedades físicas del carbón vegetal de Pino, Liquidámbar y Encino obtenidos en horno media naranja.

	<b>L. styraciflua</b>			<b>Q. brachistachys</b>			<b>P. maximinoii</b>			
<b>PROPIEDADES</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>	<b>PROM</b>
Humedad %	4.64	4.07	6.36	6.08	6.42	4.9	9.47	8.73	8.73	<b>6.60</b>
Ceniza %	0.66	0.63	1.09	1.36	1.48	1.88	0.94	0.54	0.70	<b>1.03</b>
Mat. Volátil %	42.94	44.90	41.25	27.55	29.31	40.22	47.56	58.28	54.38	<b>42.93</b>
Carbón fijo %	51.76	50.40	51.3	65.01	62.8	53	42.03	32.44	36.19	<b>49.44</b>
Poder Calorífico										
Kcal/kg	6259	5993	5678	6252	6752	5990	4762	5083	5034	<b>5756</b>
Promedio de Poder calorífico por especie	<b>5977</b>			<b>6331</b>			<b>4960</b>			

Referencias:

Liquidambar = 1A, 1B, 1C      Encino= 2A, 2B, 2C      Pino= 3A, 3B, 3C

De acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio, en promedio el carbón obtenido en el horno media naranja de la especie forestal Encino (Q. brachistachys) es la que presentó el mayor poder calorífico con 6331 kcal/kg en promedio., seguido del carbón de Liquidámbar (L. styraciflua) con 5977 kcal/kg. y por último, el carbón de Pino (P. maximinoii) con 4960 kcal/kg.

Esta misma proporción guardan los resultados obtenidos sobre el carbono fijo o contenido de carbono de cada carbón, los cuales son mayores en encino, seguidos de liquidámbar y el de menor concentración de este elemento es el de pino.

Según se reporta, el carbón deseable es aquel que mayor cantidad de kilocalorías aporte por kilogramo de peso, entre un rango descrito de 5000 a 8500 Kcal/kg. El carbón obtenido en finca Chilax se sitúa entre ese rango, debido a que el carbón de encino reportó 6331 kcal/kg y el carbón de liquidámbar 5977 kcal/kg, quedando el carbón de pino, fuera del rango pero muy

cerca de este parámetro (40 kcal/kg por debajo). Los resultados, permiten catalogar al carbón de encino y al carbón de liquidámbar como de alto poder calorífico y al carbón de pino como de menor poder calorífico, según el rango anteriormente reportado

Al efectuar el análisis de varianza de los resultados de poder calorífico, habiéndose establecido un criterio de significancia al  $P < 0.01$ , se tiene que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres tipos de carbón producidos, de acuerdo a los datos del cuadro de ANDEVA mostrado en el cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza de poder calorífico en carbón producido en horno media naranja.

<b>Fuente variación</b>	<b>Grados libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F observado</b>	<b>F Requerido</b>
Total	8	3570298.89			
Tratamientos	2	3041546.89	1520773.44	17.26**	10.92
Error	6	528752	88125.33		

Al encontrar diferencias altamente significativas, se procedió a realizar una diferenciación de medias con la prueba de Tukey como lo refleja el cuadro 10, por medio de la cual se estableció, que el tratamiento de carbón de encino se diferencia de los demás, aunque estadísticamente son iguales con el carbón de liquidámbar, al estar agrupado también junto con encino (A), pero diferente al tratamiento de pino. También, el carbón de liquidámbar y de pino estadísticamente son iguales, por agrupación juntos con la prueba de Tukey (letra B)

Cuadro 10. Resumen de agrupación de prueba de Tukey para poder calorífico de carbón producido en horno media naranja.

<b>Especie</b>	<b>Poder calorífico (Kcal/kg)</b>	<b>Grupo Tukey</b>
Encino	6331.33	A
Liquidámbar	5976.66	AB
Pino	4959.66	B

#### 2.8.4 Sondeo de aceptación

Los resultados obtenidos mediante el sondeo, revelan datos que permitieron establecer que, por sus características propias, en general, cada tipo de carbón tuvo buena aceptación por los consumidores tanto domésticos como industriales.

Las pruebas realizadas en el sondeo ayudan en el cruce de información entre las respuestas de los entrevistados sobre el comportamiento de cada carbón en la combustión y los resultados de laboratorio que explican algunos hechos, tal como ¿porqué un determinado carbón enciende más rápido y completo con muy poco humo? De sus respuestas al cuestionario sobre las características objetivas y subjetivas destaca lo siguiente:

En el tema de **encendido** 18 de los 20 entrevistados aseveran que el carbón que más fácil “prende” es el de la muestra A, o sea Liquidámbar, lo que se explica por su mediana cantidad de materiales volátiles y su alto poder calorífico atribuibles a aceites esenciales presentes en esta especie forestal: por lo que brinda su calor más fácil y rápido; siguiéndole en **velocidad para encender** el carbón de Pino (muestra C), éste también enciende rápido por la cantidad de materiales volátiles considerados altos, aunque talvez es frenado por una densidad mediana

aceptable debido a su condición resinosa de origen y, que el más tardado o difícil de encender es el carbón de Encino (muestra B) explicado por su bajo contenido de volátiles que unido a su alta densidad, dificulta el proceso de ignición y combustión inicial.

Respecto a la **presencia de humo** durante la ignición y proceso de combustión se indicó por 18 de los entrevistados que el carbón de encino presenta mayor cantidad de humo para encender y lo siguió haciendo durante los primeros diez minutos, 2 entrevistados aseguraron que el carbón de pino hacia más humo y la totalidad de los entrevistados aseguró que el carbón de liquidámbar prácticamente no hacia humo al encender.

La presencia de humo no se debe en este caso a humedad en las muestras de carbón, sino por el bajo contenido de materias volátiles que son rápidamente combustibles, que levantan la temperatura para lograr la combustión completa del carbono. En el caso del encino, que es de mayor contenido de carbono puro, requiere de una temperatura mayor a su alrededor para una combustión completa y por eso es el más difícil de llegar a braza plena y genera humo al inicio por su inicial combustión incompleta en esta parte del proceso.

En la prueba se evidenció que el carbón más rápido para alcanzar **braza plena** desde la ignición, es el carbón de liquidámbar, el cual a los 10 minutos estaba totalmente encendido. Los entrevistados reportaron que el carbón de pino prendió rápido con braza plena entre los 12 y 14 minutos, pero que debían estar soplando para “avivarlo”. Respecto al carbón de encino informaron que tiene mayor dificultad para encender, llegando a braza plena casi a los 22 minutos y a diferencia de pino y liquidámbar, el encino no necesita ser atizado constantemente.

Se pidió a los participantes que tanto a los 15 minutos como a los 30 minutos después de haber iniciado la ignición, como una prueba subjetiva, acercarán una mano a 30 centímetros del fuego de cada muestra de carbón e indicaran cuál “liberaba” **mayor calor**. Los resultados a los primeros 15 minutos sitúan al carbón de liquidámbar como el de mayor calor, seguido del fuego con carbón de pino y por último el carbón de encino. A los 30 de haber encendido las muestras los resultados situaron al carbón de encino como el que mayor calor soltaba, seguido por el fuego del liquidámbar y el que menos se sentía era el de pino. Este hecho se relaciona con el poder calorífico de cada clase de carbón, siendo en los dos momentos de toma de datos,

los carbones de liquidámbar y encino, respectivamente, los que “soltaban” más calor y que por las pruebas de laboratorio son los de más alto contenido de kcal/kg.

Las consultas relacionadas a **olor del humo y sabor** transmitido a los alimentos se tiene que al 100% de las personas les agradó el olor del humo del encino; a un 20 % de las personas no les gusto el olor del humo del carbón de pino y, solamente a uno 1 de los 20 entrevistados les desagradó el olor del humo del liquidámbar. Otra situación es al degustar la carne que prepararon en cada uno de los distintos fuegos es que, el 90% opinan que la carne asada en el carbón de encino le sentían mejor sabor, pero, todos coinciden en que ninguno de los tres carbones confiere mal sabor a los alimentos asados, a diferencia del carbón que han comprado tanto en tiendas como en supermercados.

Se midió el **tiempo total con brazas**, siendo los resultado de 2 horas 10 minutos para el carbón de pino; 2 horas con 30 minutos de baza en el carbón de liquidámbar y el que más duró con braza prendida sin atizar fue el carbón de encino con 3 horas y 10 minutos, mostrando una diferencia de más de media hora de fuego con respecto a liquidámbar y una hora más que el carbón de pino.

Las características físicas de cada clase de carbón no están por separado, sino que integradas que les aportan cualidades especiales que permiten establecer mejores usos para cada uno, siendo así que los consumidores domésticos prefieren un carbón que prenda rápido, que suelte poco humo y no transmita mal sabor a los alimentos asados, siendo indistinto para ellos la materia prima original (especie forestal).

Por su lado, los consumidores industriales quieren un carbón que dure el mayor tiempo posible con braza, que dé buen sabor a los alimentos, expresando su preferencia por carbón de encino, pero a su vez, gratamente sorprendidos por el desempeño del carbón de liquidámbar, que no conocían anteriormente, como con carbón de pino producido en horno.

### 2.8.5 Funcionamiento del horno

El establecimiento de este aditamento tecnológico en la finca, produjo reacciones contrarias entre el personal, propietarios y personal institucional. El personal local mostró escepticismo desde un principio, esperando con ansia ver el derrumbe de las paredes de forma circular, el personal que construía el horno siempre tuvo miedo del desplome de los ladrillos y extremaron el uso de puntales para evitarlo. A nivel administrativo no se creyó que el horno en realidad produciría carbón, solamente cenizas y esperaban usarlo después para hornear pan. El autor y los propietarios de la finca estuvimos convencidos de que el horno sí funcionaría, lo cual así pasó, sin embargo en las fuentes consultadas para la construcción y funcionamiento se reporta un tiempo de carbonización de 10 a 12 días por hornada, en campo la experiencia que se ha tenido al principio con las primeras hornadas ha sido de 25 días. Actualmente se tiene un plazo de 18 a 22 días por hornada.

Buscando una explicación a lo prolongado de la carbonización, únicamente es el factor climático que prevalece en la finca, extremadamente húmedo, durante la mayor parte del año, con lluvias totales del rango de hasta 5,000 mm por año, ya que se siguieron las especificaciones para construcción, madurado, uso y mantenimiento del horno.

A pesar de la duración un poco más tardada del proceso, se considera que la calidad y rendimiento del carbón que se está produciendo, es muy buena, teniendo el manifiesto interés de personeros de INAB, Cobán, en los resultados de este estudio y darle promoción en la zona.

El costo de una unidad similar no supera los Q 4,000.00 considerándose una tecnología de bajo costo de implementación, vida útil de largo plazo y es una opción de aprovechamiento a materiales que están quedando desperdiciados en el campo forestal. Para el desarrollo del proceso de fabricación de carbón se necesitó contar con los materiales necesarios, la mano de obra para la construcción del horno piloto, jornales para manejo de leña, manejo del horno y otros, fueron recursos cubiertos en su totalidad por Finca Chilax. Un estimado en todo el desarrollo del experimento y todos los materiales, jornales, equipo y análisis de laboratorio, tuvo un costo aproximado de Q. 25,000.00.

Durante el desarrollo e implementación de éste ensayo en la finca, se tomó con mucho interés el cuidado de no generar una fuente de contaminación inmanejable, por que la escogencia del lugar de construcción dio sus frutos, ya que al principio solicitaban que el horno se construyera dentro del casco de la finca, lo que hubiera sido un grave error, por la fuerte cantidad de humo que expele el horno al iniciar el proceso de combustión. El lugar escogido tiene muy buena ventilación, y no está cerca de residencias, se ubicó en un sitio alto que evitara el riesgo de inundación para no propiciar contaminación de manto freático. Unido a lo anterior se construyó un techo de lamina para cubrir la unidad experimental y prevenir el lavado y lixiviado de alquitranes y aceites pesados a corrientes de agua debido a lluvias.

Es difícil determinar la batería de producción de carbón según el tamaño de una finca, más bien la decisión estriba en el volumen de leña con que se cuenta y la disponibilidad o cercanía de la misma hacia el horno. A manera de estimación un par de hornos que en conjunto reciban 100 m<sup>3</sup> de leña por hornada, podrían transformar durante el año un total de 1,200 a 1,600 m<sup>3</sup> de leña, la cual fácilmente puede ser producida en una caballería de terreno (45 ha) como remanente secundario del aprovechamiento de bosque natural para aserrío.

En aspectos de costo de producción, las estimaciones son las siguientes: En el área de Chamelco es común comercializar la leña por metro que resulta ser una estiba de leña de un metro lineal de frente por un metro de altura y los leños de 50 cm de largo como fondo de la estiba (equivalente a 0.33 m<sup>3</sup>), esta unidad tiene un precio de mercado de Q 75.00/m de leña, entonces, para cada hornada se utilizó 15 m de leña que a precio de mercado equivale a Q.1,125.00 en total; Con el promedio de conversión del horno de 22% y con el peso promedio de las especies por m<sup>3</sup> se logró obtener 12 quintales de carbón útil, lo cual a precio a granel puesto en finca se puede lograr hasta Q150.00/quintal, sumando esto un gran total de Q.1,800.00, significando un diferencial positivo en la fabricación y venta de carbón del orden de 60% más de ingreso que con la venta de leña. Otra ventaja es que el carbón se puede almacenar por largo tiempo, mientras que la leña sufre decaimiento por hongos e insectos, llegando a perder por completo.

En lo referente a precios de carbón en el mercado local, éstos oscilan desde Q.2.00 la libra en mercados cantonales y tiendas, hasta Q.5.50 la libra en supermercados en presentaciones de tres y cinco libras por bolsa. En el caso de briquetas de carbón el precio ronda los Q.9.00 por

libra y son importados de Colombia. El precio a granel de comerciantes que traen carbón a la Verapaces es de Q120.00 el “bulto” que en promedio pesa 75 libras, equivalente a Q 1.60/libra. En el caso de la leña de pino el mercado en las Verapaces es muy reducido, por lo que la alternativa de conversión a carbón es aún más beneficiosa.



## 2.9 Conclusiones

1. La construcción del horno de ladrillo media naranja en la finca Chilax, como unidad piloto ha resultado ser una tecnología de bajo costo de implementación y es una opción exitosa de aprovechamiento a materiales que estaban quedando desperdiciados en el campo forestal.
2. En promedio general con el horno media naranja se obtuvo una relación de una parte de carbón por cada 4.5 partes de leña, equivalente a un 22% de rendimiento. De las tres especies estudiadas, el carbón de Encino (*Quercus brachistachys* Benth) presenta el rendimiento mayor con un promedio de 25.38%, seguido por el carbón de Liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua* Lineo.) con promedio de 20.81% y por último el carbón de Pino (*Pinus maximinoii* Moore.) con rendimiento de 20.75%,
3. En los tres tipos de carbón producidos, solamente el carbón de Encino con 273.8 kg/m<sup>3</sup> está dentro del rango de densidad ideal reportado por FAO de 250 a 300 kg/m<sup>3</sup>. (4), el carbón de Pino con 233.33 kg/m<sup>3</sup>, esta cerca, sin embargo, el carbón de Liquidámbar está muy por debajo, con un promedio de 176.2 kg/ m<sup>3</sup>. En promedio el carbón que presentó el mayor poder calorífico es la especie forestal Encino (*Q. brachistachis*) con 6331 kcal/kg, seguido del carbón de Liquidámbar (*L. styraciflua*) con 5977 kcal/kg. y por último, el carbón de Pino (*P. maximinoii*) con 4960 kcal/kg
4. Estadísticamente **SÍ** existen diferencias altamente significativas en las propiedades físicas de rendimiento de conversión, densidad aparente y poder calorífico, entre el carbón obtenido de las tres diferentes especies forestales utilizadas, rechazándose la hipótesis nula planteada. El carbón de encino (*Quercus brachistachys* Benth) marca exclusivamente la diferencia estadística en rendimiento de conversión, siendo superior a las otras dos especies en el análisis de varianza y prueba de Tukey. en la propiedad física de densidad aparente el carbón de encino (*Quercus brachistachys* Benth) y de pino (*Pinus maximinoii* Moore) estadísticamente son iguales pero superiores al carbón de Liquidámbar (*L. styraciflua*). En cuanto a poder calorífico el carbón de encino se diferencia de los demás, aunque estadísticamente son iguales con el carbón de

liquidámbar pero diferente al tratamiento de pino, también, el carbón de liquidámbar y de pino estadísticamente son iguales en esta variable.

5. El carbón producido con las tres diferentes especies forestales, aunque todos fueron muy bien aceptados, sin algún rechazo extremo, durante el sondeo realizado se presentó cierta predilección por el carbón de Encino (*Quercus brachistachys* Benth), comprobándose completamente la segunda hipótesis planteada. Los consumidores domésticos prefieren un carbón que prenda rápido, que suelte poco humo y no transmita mal sabor a los alimentos asados, siendo indistinto para ellos la materia prima original (especie forestal) pudiendo hacer de esto, una ventaja competitiva para el mercado. Por su lado, los consumidores industriales quieren un carbón que dure el mayor tiempo posible con brasa, que dé buen sabor a los alimentos, expresando su preferencia por carbón de encino (*Quercus brachistachys* Benth), pero a su vez, gratamente sorprendidos por el desempeño tanto con carbón de liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* Lineo.), que no conocían anteriormente, como con carbón de pino (*Pinus maximinoii* Moore.) producido en horno.
6. En pruebas de combustión el carbón de liquidámbar (*Liquidambar styraciflua* L.) presenta brasa completa entre los primeros diez minutos, siendo el más rápido en prender, en segundo lugar el carbón de pino (entre 12 y 14 minutos). Por último el carbón de encino tarda de 20 a 22 minutos para llegar a brasa plena.
7. La producción, tarda diez días más que lo reportado por OLADE (2) y FAO (4), en el horno Media Naranja para las condiciones ambientales de finca Chilax, sin embargo se considera que la calidad obtenida es muy buena al compararse los parámetros obtenidos con los rangos ideales.,

## 2.10 Recomendaciones

- A los propietarios de finca Chilax, considerar el potencial positivo de la producción de carbón para la finca y destinar fondos de inversión para establecer una batería de un mínimo de 8 hornos media naranja, en diferentes ubicaciones estratégicas dentro de la finca, pero de mayor tamaño, sugiriendo hornos con diámetros de 7 metros que permitan producir el triple de cantidad de carbón en casi el mismo tiempo que el horno piloto, para alcanzar un escenario económico comercial favorable.
- Se recomienda al INAB como parte de incentivos forestales, promover y difundir intensivamente los hornos carboneros en todas las regiones del país, que permita a propietarios de fincas con recurso forestal disponible, acceso al conocimiento sobre esta tecnología.
- En fincas que no tienen buen mercado para leña de cualquier especie forestal, considerar la opción de producir carbón a nivel comercial de buena calidad, mediante el uso de hornos carboneros, basados en los resultados de este estudio.
- Se recomienda a instituciones académicas, promover estudios de adecuación y adopción del uso de carbón producido en horno, en las operaciones con secadoras de granos y semillas, tal el caso del secado de cardamomo, café y otros, que actualmente consumen leña como combustible -en su mayoría verde-, con lo cual generan deterioro más rápido de los sistemas de combustión por herrumbre. Estos estudios deberán contemplar que se implemente mejoras y adecuaciones al sistema de parrillas y de abasto del hogar de las secadoras como se usan actualmente, para adaptarlas al tamaño de las piezas de carbón.

## 2.11 Bibliografía

1. Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
2. Curso sobre carbón vegetal para Centro América (1, 1983, Guatemala, GT). 1983. Guatemala, OLADE (Organización Latinoamericana de Energía, CL) / MEM (Ministerio de Energía y Minas, GT) / CETEC (Fund. Centro Tecnológico de Minas Gerais, BR) / Florestal Acesita, BR. v. 1.
3. David, N; Hon, S; Shiraishi, N. 1991. Wood and cellulosic chemistry. US, Marcel Dekker. 1020 p.
4. FAO, IT. 2003. Leña, carbón y carbonización (en línea). Roma, Italia. FAO DAP/ARG/70/536. Consultado 10 jul 2003. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x5595s/X5595S16.htm>
5. GeoRecursos, GT. 2000. Plan de manejo forestal de finca Chilax, San Juan Chamelco, Alta Verapaz. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala, Finca Chilax. 45 p.
6. Little, TM; Hills, FJ. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 3 ed. México, Trillas. 271 p.
7. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la república de Guatemala, a escala 1:250,000. Guatemala. 1 CD.
8. Microsoft, US. 2005. Biblioteca de consulta Microsoft Encarta 2005. México. 4 CD.
9. Montgomery, DC. 1999. Diseño y análisis de experimentos. Trad. por Jaime Delgado Saldivar. México, Grupo Editorial Iberoamérica. p. 60-73.
10. Peters, R. 1977. Tablas de volumen para las especies coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 164 p. (Proyecto PNUD/FAO/GUA/72/006, Documento de trabajo no. 17).
11. Steel, RGD; Torrie, JH. 1989. Bioestadística: principios y procedimientos. Trad. por Ricardo Martínez. 2 ed. México, McGraw-Hill. p. 166-187, 576-577.
12. USAC (Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Instituto de Investigaciones Agronómicas, GT). 1991. Guía para la elaboración de proyectos de tesis. Guatemala. 8 p.

### **CAPITULO III**

**SERVICIOS REALIZADOS EN FINCA CHILAX, SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ**

### **3.1 Antecedentes**

A través del convenio de cooperación entre Finca CHILAX, S. A. y la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se inició en Febrero del año 2006 un Diagnóstico de la Finca Chilax, en el cual se identificó la problemática global asociada al uso de recursos naturales, aspectos sociales y administrativos, con lo cual se definieron líneas de investigación y actividades de servicio priorizadas, buscando desarrollar el potencial productivo y otras oportunidades focalizadas que se podría realizar durante el Ejercicio Profesional Supervisado. Además, la Gerencia General de la Finca designó algunas tareas concretas que debía realizar el estudiante E.P.S.A. En este informe se detallan los servicios realizados durante 10 meses de febrero a Noviembre 2006.

### **3.2 Área de influencia**

Los servicios efectuados durante el ejercicio profesional supervisado se desarrollaron exclusivamente en las instalaciones de finca Chilax, ubicada en el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz, y en la sede regional del Instituto Nacional de Bosques, situada en Cobán, Alta Verapaz.

### **3.3 Objetivos**

Desarrollar un programa de administración forestal, que cubra con el mandato legal de la finca de contar con un Regente Forestal y que establezca procedimientos de control técnico y administrativo en materia forestal de los proyectos en ejecución y a futuro, que además Apoye las actividades de diversificación del portafolio de proyectos de la finca.

## **3.4 Descripción de servicios**

### **3.4.1 Regencia forestal**

#### **3.4.1.1 Descripción del problema**

Finca Chilax pasó al final de los años 90 de ser una propiedad sin actividad agroeconómica, a los principios del 2000 a ser una finca centrada en la actividad forestal, iniciando con el levantamiento de inventarios forestales y la estructuración de un plan de manejo y aprovechamiento comercial de sus bosques. Desde el primer turno, el aprovechamiento fué cedido a terceros y posteriormente revocado el contrato de ejecución del plan, por lo que la junta directiva de Chilax, S. A. decidió ejecutar por si misma la administración de los planes forestales.

Este cambio insertó a la finca misma, en un vacío legal, ya que la propia Ley Forestal establece la obligatoriedad a personas jurídicas que desarrollen programas forestales a ser representados y asistidos por un Regente Forestal Autorizado. Esta figura legal ejecutada por un profesional capacitado e inscrito en el registro forestal nacional representa e intermedia a productores forestales ante el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, es la persona designada para elaborar estudios técnicos de manejo forestal, certificación de suelos, proyectos del programa de incentivos forestales y otros. Tiene a su cargo la ejecución, supervisión y control de aprovechamientos forestales de licencias autorizadas y planes de reforestación.

El autor asumió esta actividad en Febrero 2006 como parte de los servicios incluidos en el programa EPSA de la Facultad de Agronomía, siendo necesario estar ya inscrito en el registro forestal nacional, aunque en la categoría de TECNICO y funge como regente forestal autorizado de Finca Chilax ante el INAB.

A continuación se describen varios de los campos y actividades en los que influyó el desarrollo de la regencia forestal en este plan de servicios:

### **3.4.1.2 Planes operativos**

La actividad principal de Finca Chilax, es la producción forestal, orientada por un plan maestro para ejecutarse en cinco turnos de aprovechamiento en el bosque natural. En la Actualidad se desarrolla el turno numero tres en un área de 13 hectáreas.

También se ejecuta un plan de manejo de plantaciones voluntarias, las que por su edad y desarrollo se están aprovechando en sistema de tala rasa y su posterior reposición.

Se lleva un plan de establecimiento, mantenimiento, poda y raleos de plantaciones de compromiso generados por los aprovechamientos de bosque natural, plantaciones voluntarias maduras y un plan de reforestación de 30 hectáreas anuales dentro del programa de incentivos forestales.

El trabajo del autor ha sido coordinar personal para la ejecución en tiempo, de las actividades calendarizadas por cada plan de manejo, supervisar la ejecución correcta de las mismas, mantener existencia de las notas de envío para transporte de los productos aprovechados del bosque y plantaciones.

### **3.4.1.3 Informes ante INAB**

En Finca Chilax se manejan dos tipos de licencia de aprovechamiento forestal; el primero, se refiere a la licencia comercial de aprovechamiento del bosque natural que obliga a presentar informes de avance por cada trimestre en formato proporcionado por INAB, adjuntado los triplicados de las notas de envío utilizadas en el mismo período.

El otro aprovechamiento es de plantaciones voluntarias que se consideran exentas, sin embargo se presentan informes de uso de notas de envío y un detalle de los productos obtenidos, adjuntando los triplicados de las notas, cada vez que se requiere de más nota para transporte de productos.



Se han efectuado solicitudes para ampliación de plazo de la licencia comercial por tener saldo pendiente de movilizar de productos forestales y área pendiente de talar.

Se ha efectuado trámite en INAB para inscripción de dos plantaciones voluntarias, así como seguimiento al plan operativo de programa PINFOR.

#### **3.4.1.4 Desarrollo de controles administrativos**

Durante la regencia se ha tenido que generar diferentes formatos digitales para llevar control en computadora de los procesos de producción, venta, transporte administración, así como del manejo de cartera de la actividad forestal de la finca. Estos son alimentados constantemente con datos en computadora y se mantiene un archivo impreso. Algunos son:

- FORMATO DE CUBICACION
- USO Y CONTROL DE NOTAS DE ENVIO
- CONTROL DE JALETE DE BUEYEROS
- PLANILLA DE ELABORACION DE FLICH
- PLANILLA GENERAL DE LA FINCA
- KARDEX DE SALDOS Y ANTICIPOS DE CLIENTES
- CONTROL DE EGRESO DE PRODUCTOS FORESTALES
- CONTROL DE SALDO DE LICENCIA TURNO TRES

#### **3.4.1.5 Comercialización de productos forestales**

Otra actividad designada por la Gerencia General, es dar seguimiento a la cartera de clientes, mantener contacto constante de pedidos y entregas, cobranza, regularización de saldos, remedidas y negociación de diferenciales en volumetría. Se ha visitado a clientes en Chimaltenango, Guatemala, El Rancho y Las Verapaces, dos o tres veces al mes.

### **3.4.1.6 Generación de cartografía básica**

Durante el EPS se han desarrollado varios mapas descriptivos de finca Chilax, basándose en análisis de fotografía aérea y levantamientos con G.P.S. Entre los mapas generados se mencionan los siguientes:

- RED DE CAMINOS DE FINCA CHILAX
- USO Y COBERTURA ACTUAL DE FINCA CHILAX
- UBICACIÓN DE PLANTACION DE COMPROMISO UNO
- UBICACIÓN DE PLANTACION DE COMPROMISO DOS
- UBICACIÓN DE PLANTACIONES VOLUNTARIAS
- UBICACIÓN PLANTACIONES PINFOR 2005
- PROYECTADO PLANTACIONES PINFOR 2006
- VACIADO DE MAPA SOBRE HOJA CARTOGRAFICA
- PROYECTO DE DIVERSIFICACION AGRICOLA

### **3.4.1.7 Ensayo de especies forestales**

Por buscar alternativas a las plantaciones tradicionales de pino maximinoii, se estableció un ensayo forestal en el mes de julio con 200 plantas de Palo Blanco (*Cibistax donellsmithii*), 200 plantas de Matiliguatate (*Tabebuia Rosea*), y Cedro (*Cedrella odorata*), establecido a distanciamiento de 5 x 5 metros. Al mes de noviembre la especie mejor adaptada por crecimiento, sanidad y sobrevivencia es cedro, y en segundo lugar el Matiliguatate. El desarrollo de Palo Blanco se ha visto muy limitado por factores climáticos. Los resultados parciales de este ensayo servirán para solicitar a INAB autoricen la incorporación de cinco hectáreas al programa PINFOR para el 2007.

### **3.4.2 Diversificación agrícola**

Como una actividad de apoyo, al autor se le encargo supervisar el desarrollo del programa de diversificación agrícola de la finca, habiéndose establecido a la fecha, 12 hectáreas de

Aguacate Hass, 3 hectáreas de Naranja Washington, 9 ha de Izote y se están ejecutando 12 ha de café. Llevándose seguimiento de las limpias, plateos y programa de fertilización y resiembra. Así como mantener relación y ser el contacto con el personal de PROFRUTA en las supervisiones al cultivo de aguacate que se estableció con apoyo de este programa gubernamental.

### **3.5 Evaluación**

La regencia se desarrolló completamente, cubriendo el aspecto legal ante las autoridades específicas, dando seguridad del marco jurídico a finca Chilax, para su accionar en materia forestal. Se establecieron los diferentes mecanismos de control administrativo y técnico que regularice y sistematice las operaciones, llevando el orden y control de las mismas, mediante formularios y formatos de reportes, así como el establecimiento de planes de ejecución de proyectos, planes de acción autorizados para plantaciones voluntarias, licencias comerciales y programa de incentivos forestales. Mediante el desarrollo de estos servicios la finca ha logrado incrementar su portafolio de proyectos agrícolas y forestales y en adelante tener un control administrativos confiable y ordenado, habiendo cubierto satisfactoriamente las metas propuestas en este ejercicio profesional.

### **3.6 Recomendaciones**

Al grupo administrativo de finca Chilax se recomienda continuar haciendo uso de todos los diferentes controles establecidos y generados en este proyecto de servicios, para que fomenten el registro histórico de los hechos cotidianos dentro del proceso productivo agrícola y forestal. Al contar con una base amplia de registro será más fácil hacer proyecciones y sistematizaciones para proyectos y planes futuros, al igual que para efectuar las evaluaciones a las plantaciones, conociendo su registro de eventos se podrá interpolar datos a nuevas plantaciones.



**Anexo I**

**MAPAS DE LA FINCA**



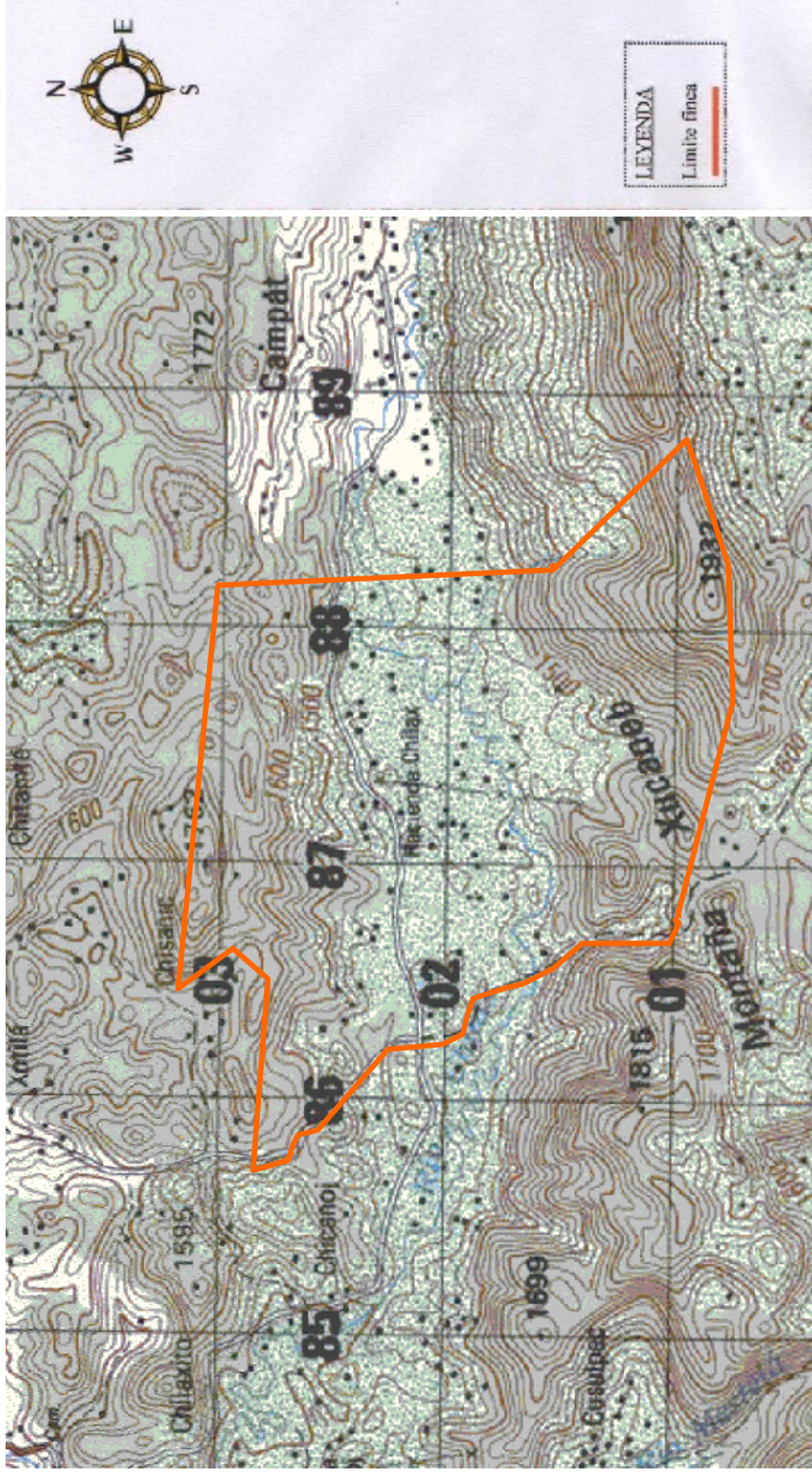


FIGURA 1A. Mapa de ubicación y límites de finca Chilax, S. J. Chamelco, A.V.  
Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz  
escala 1:20,000



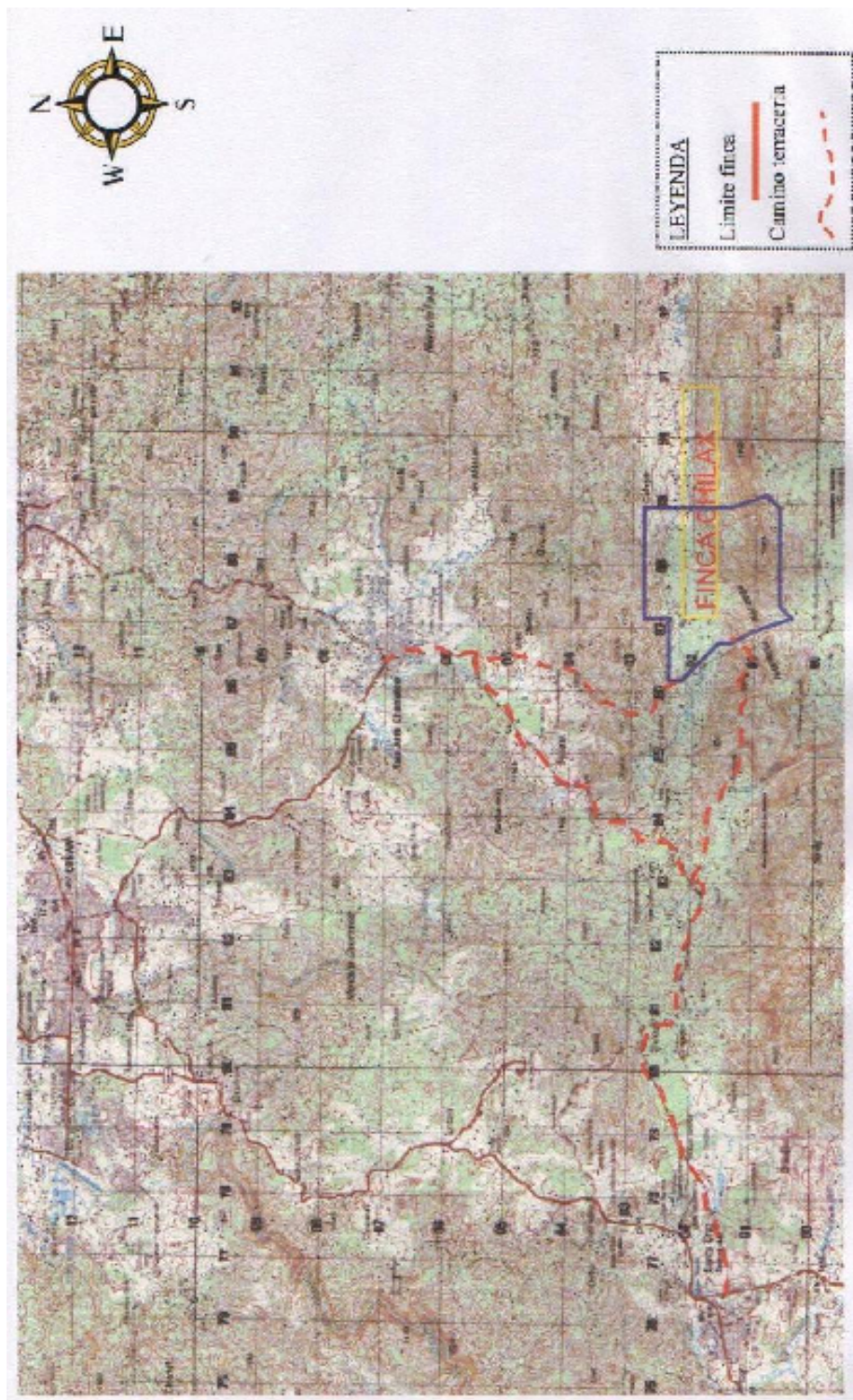


FIGURA 2A. Mapa de localización y vías de acceso a finca Chilax, S. J. Chamelco, A.V.

Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

escala 1:20,000



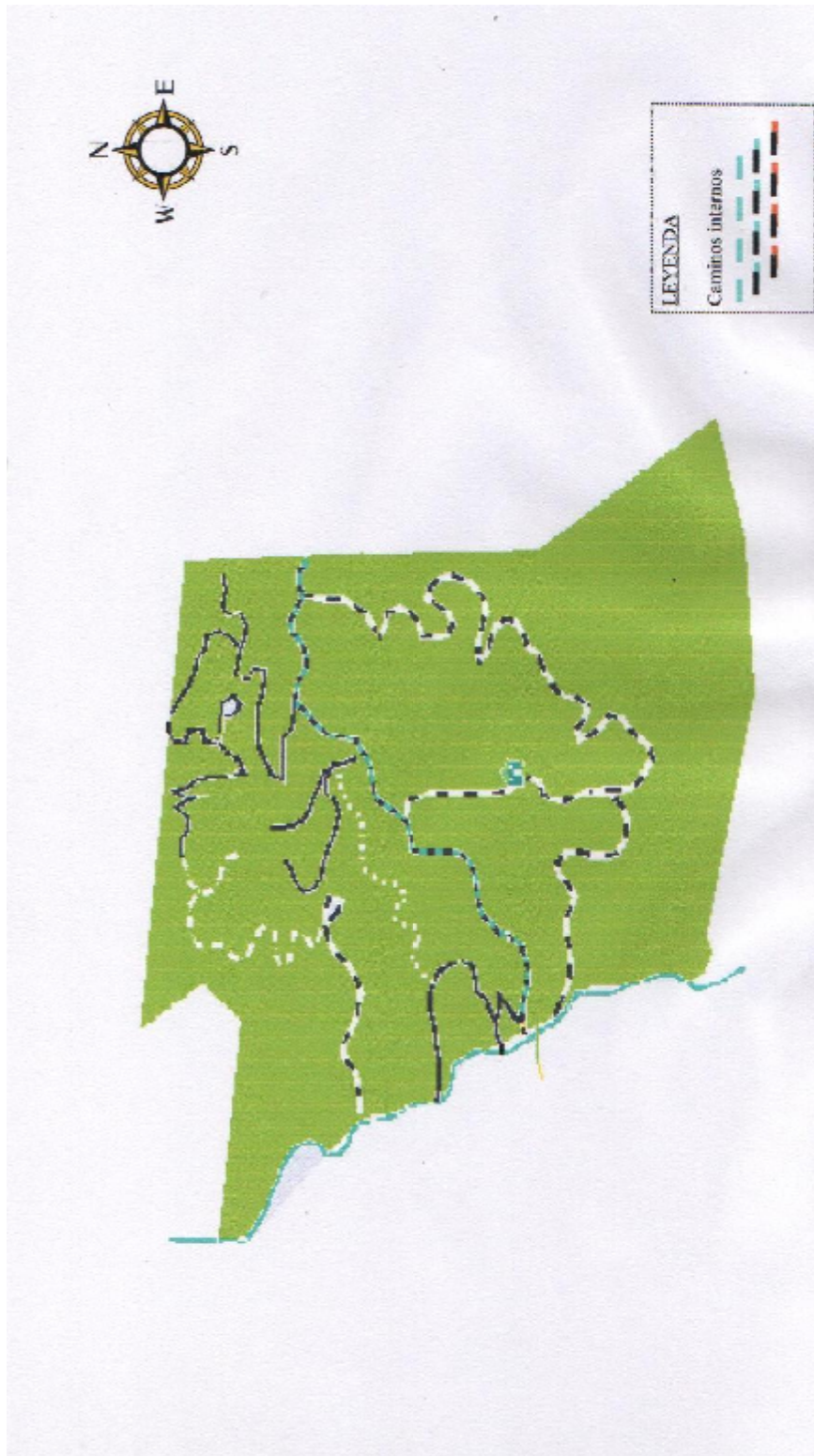


FIGURA 3A. Mapa de caminos internos de finca Chilax, S. J. Chamelco, A.V.  
Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

escala 1:20,000

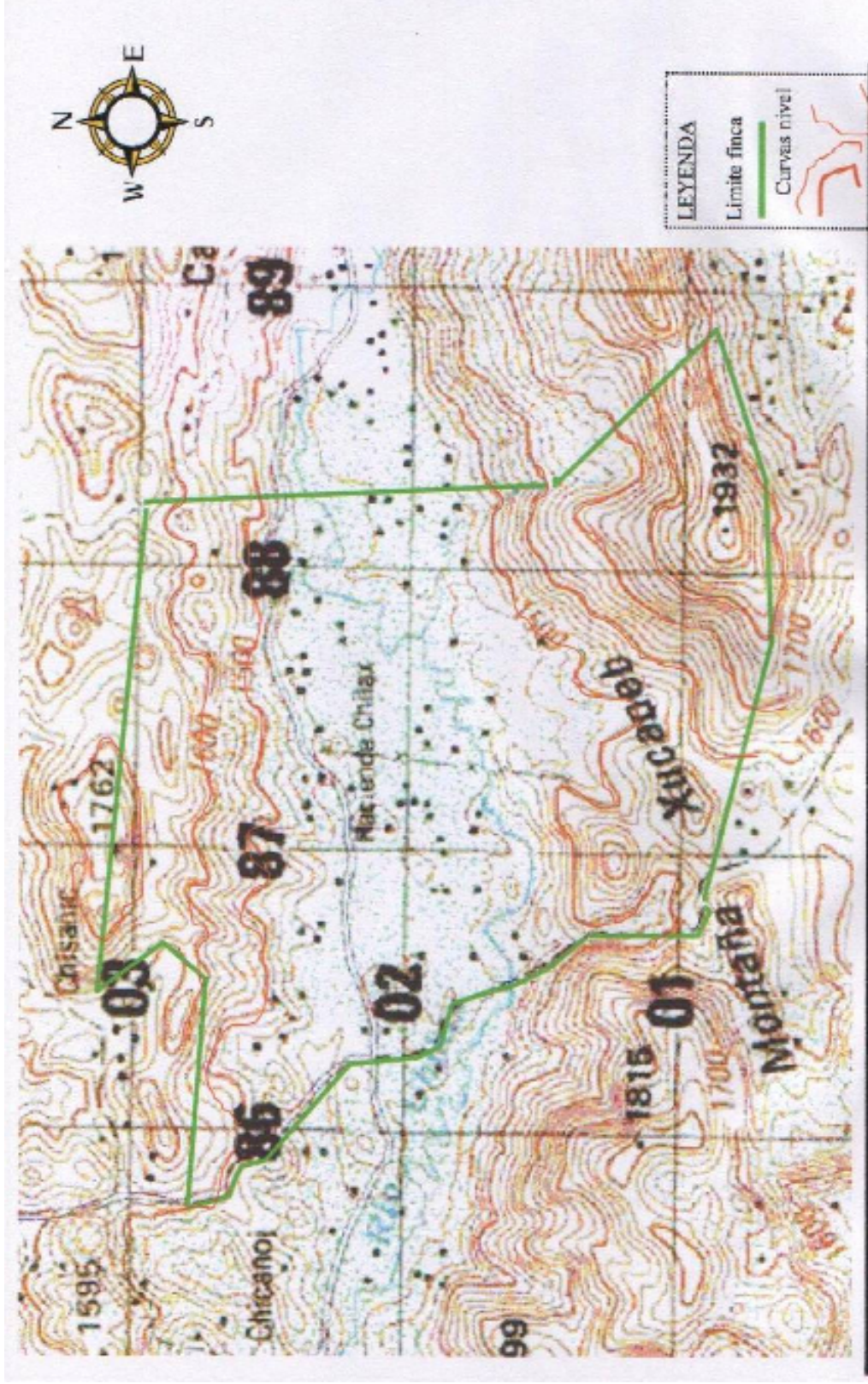


FIGURA 4A. Mapa de curvas de nivel de finca Chilax, S. J. Chamelco, A.V.  
Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

escala 1:20,000





FIGURA 5A. Mapa de cobertura forestal de finca Chilax, S. J. Chamelco, A.V.  
Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

escala 1:20,000



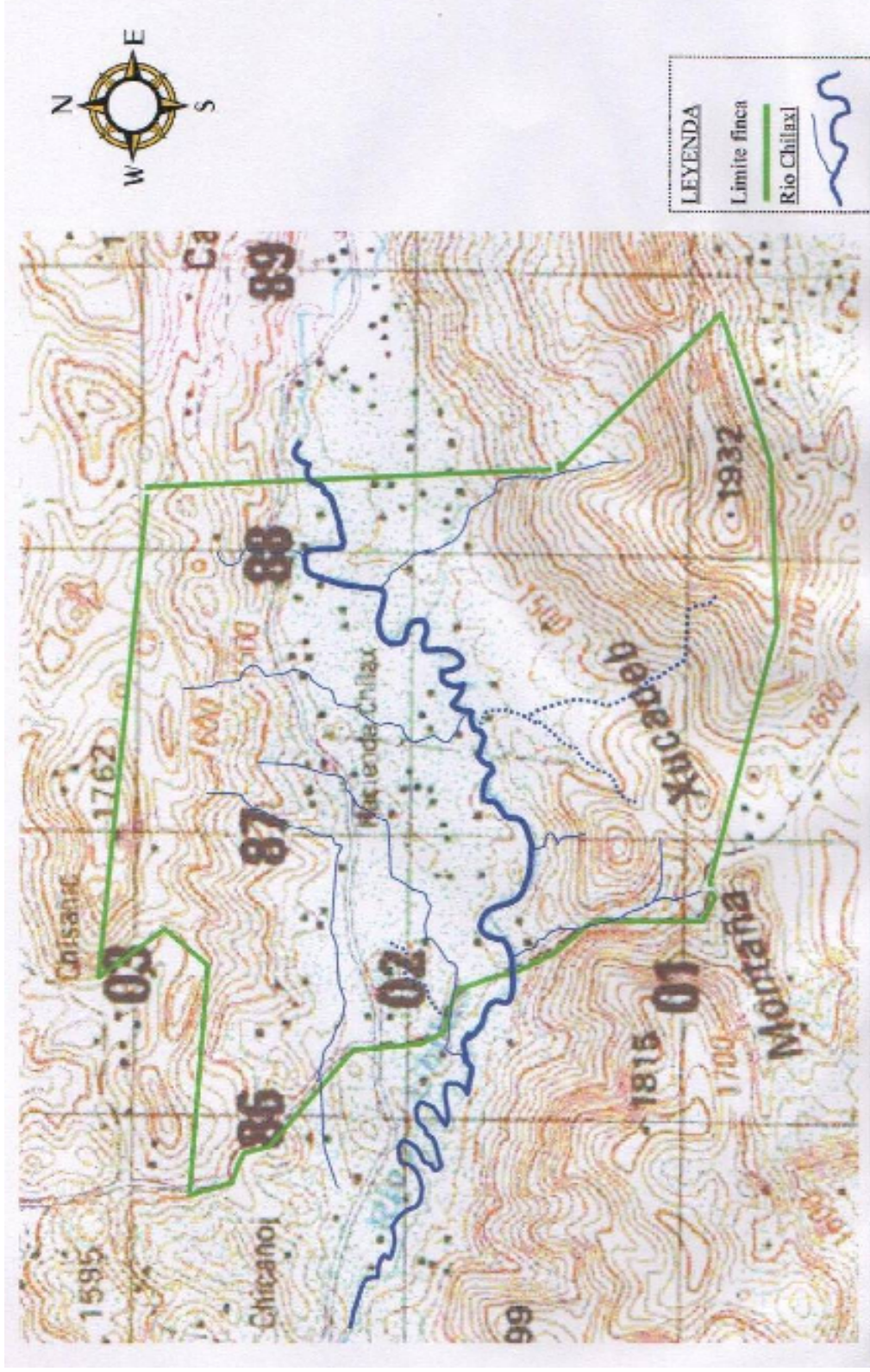


FIGURA 6A. Mapa de escorrentía superficial de finca Chilax, S. J. Chamelco, A. V.  
Fuente: Mapas temáticos digitales de Guatemala. MAGA  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz  
escala 1:20,000

**Anexo II**

**PLANOS Y FOTOS  
DEL HORNO MEDIA NARANJA**



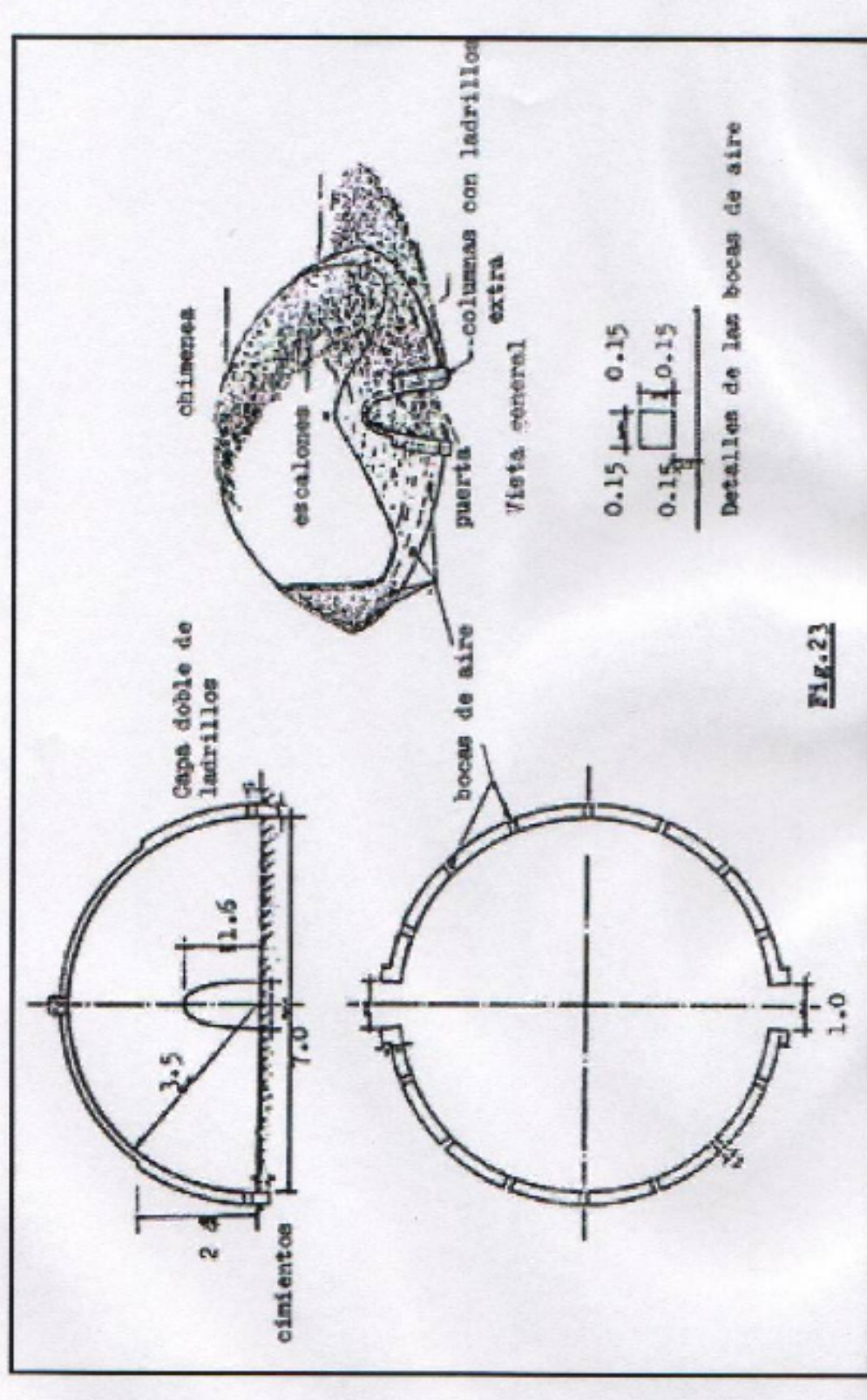


FIG. 23

FIGURA 7A. Planos para un horno argentino media naranja.  
Fuente: FAO. IT 2003. Leña, carbón y carbonización  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz



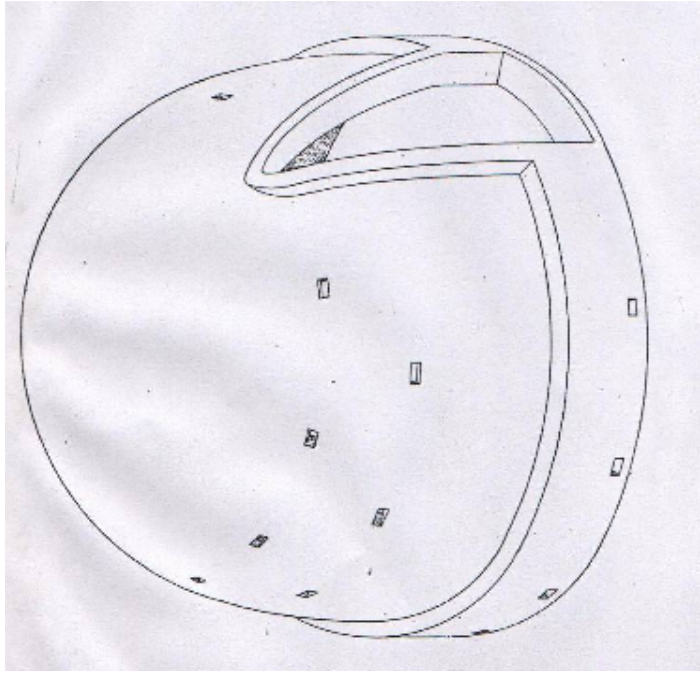


FIGURA 8A. Planos para un horno argentino media naranja y vista del horno construido en Chilax.  
Fuente: Organización Latinoamericana de Energía. 1999  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz





FIGURA 9A. Panorámica del sitio de construcción del horno media naranja.  
Fuente: Edwin Villagrán  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

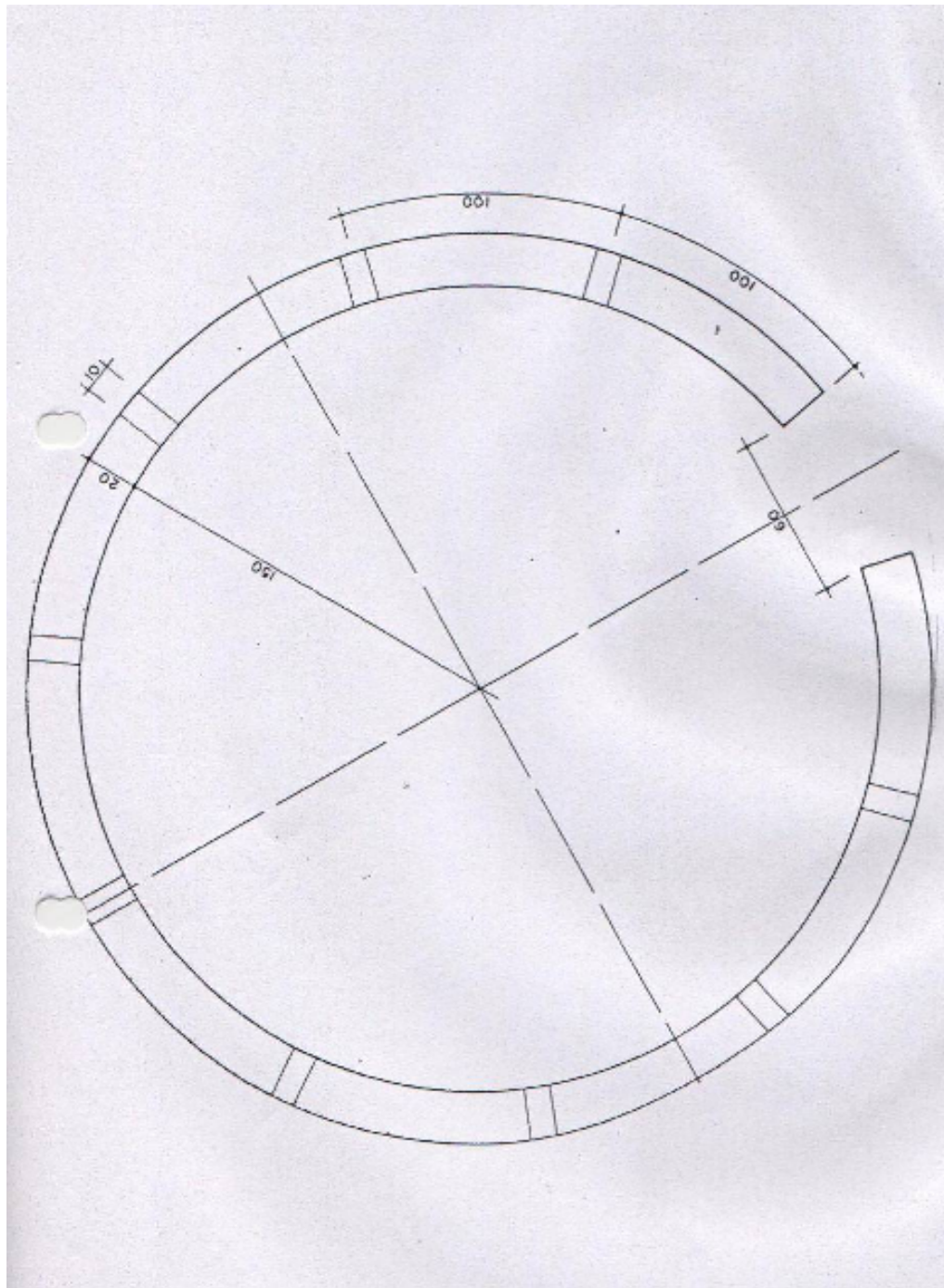


FIGURA 10A. Trazado y marcación de construcción del horno media naranja.

Fuente: OLADE. 1999

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz



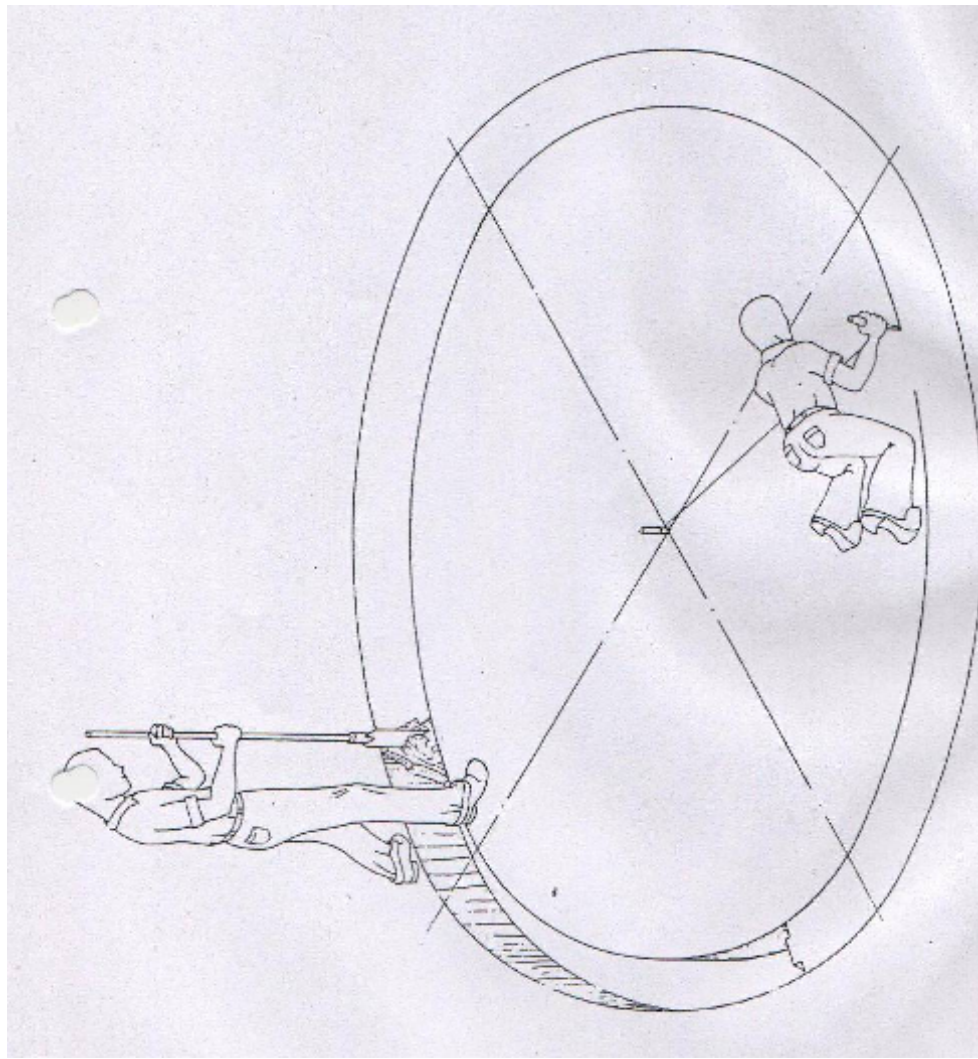


FIGURA 11A. Corte de cuneta para cimientos del horno media naranja.

Fuente: OLADE. 1999

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

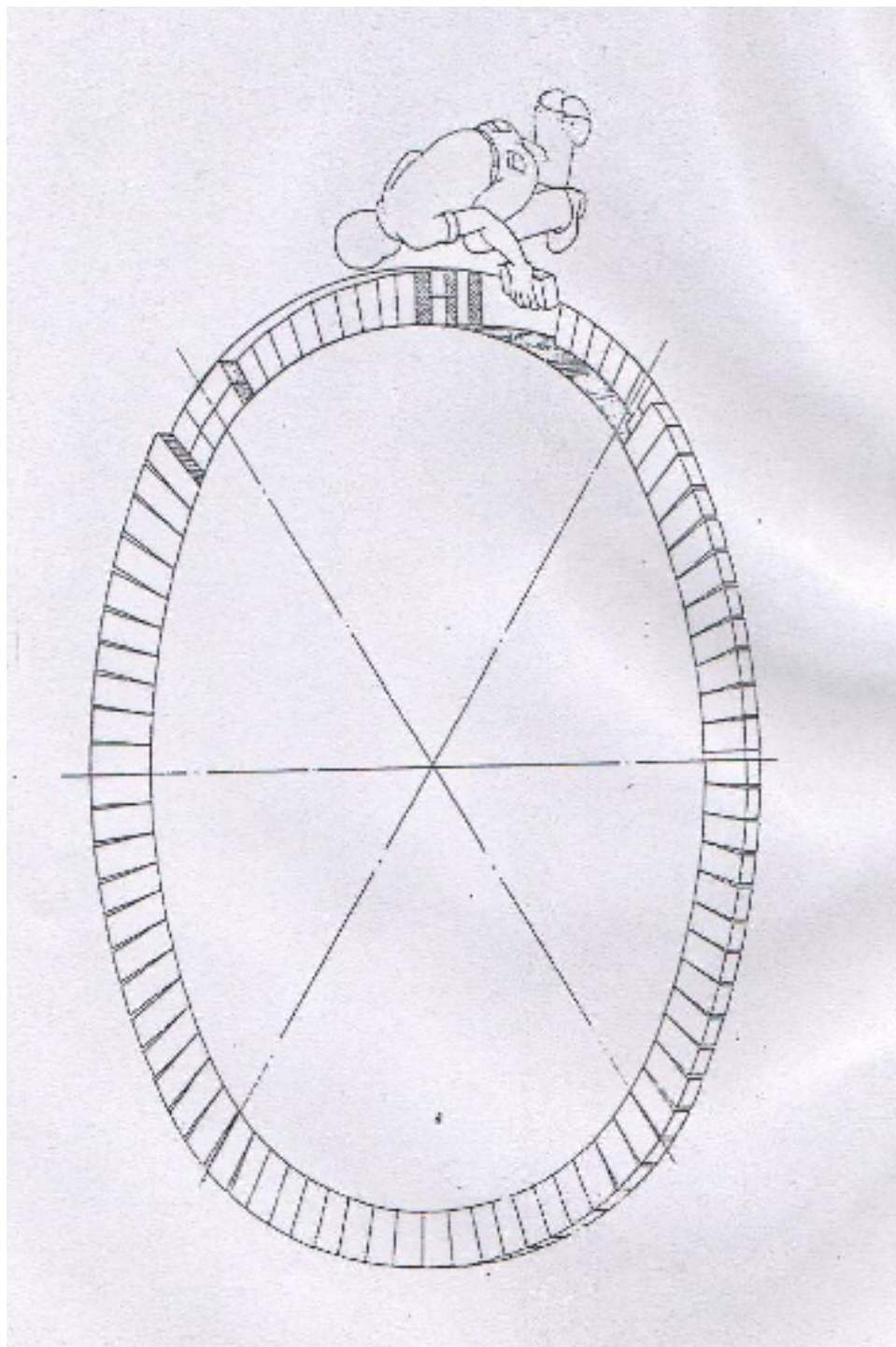


FIGURA 12A. Construcción de cimiento y piso del horno media naranja.

Fuente: OLADE. 1999

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

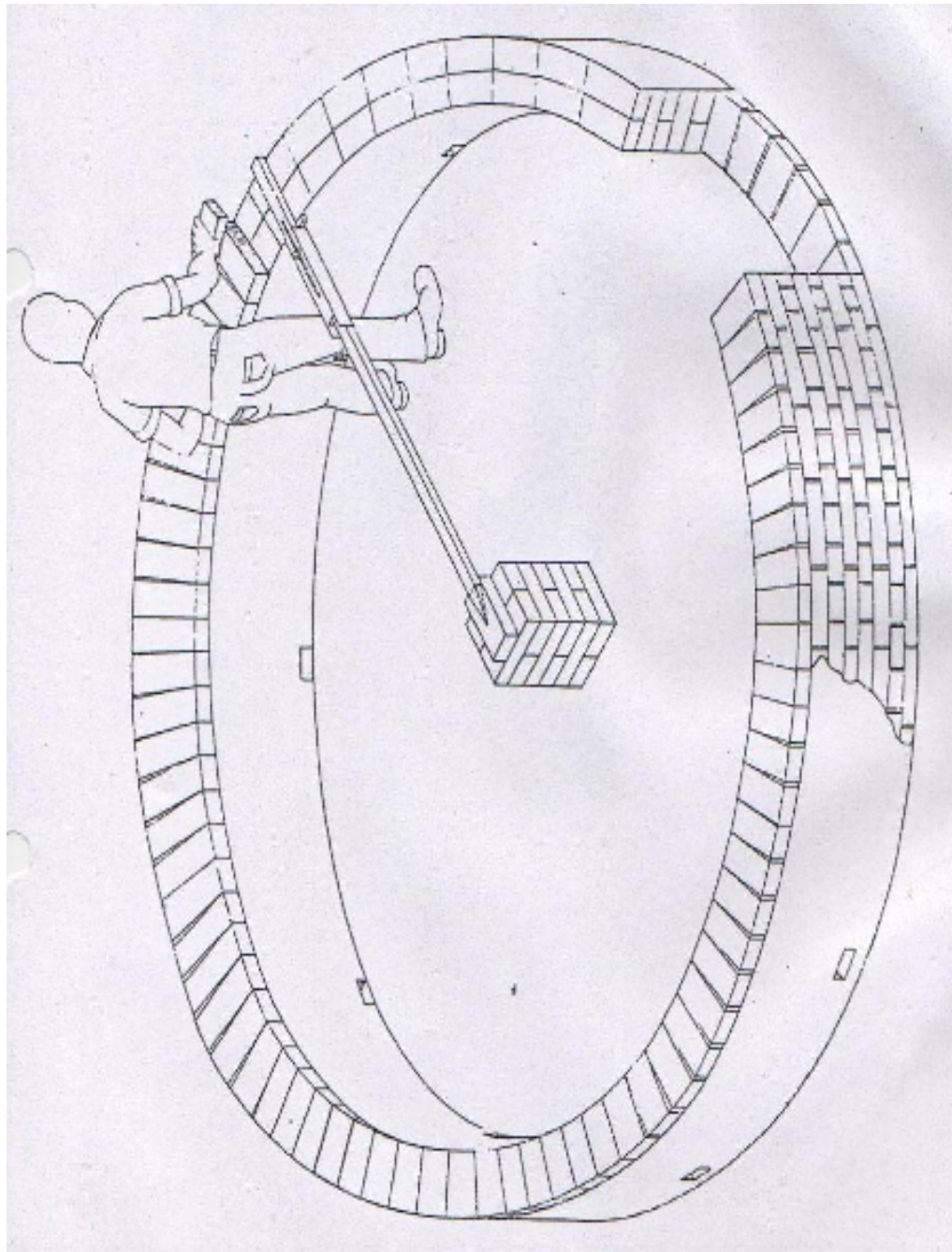


FIGURA 13A. Construcción del cinturón base del horno media naranja.

Fuente: OLADE. 1999

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz



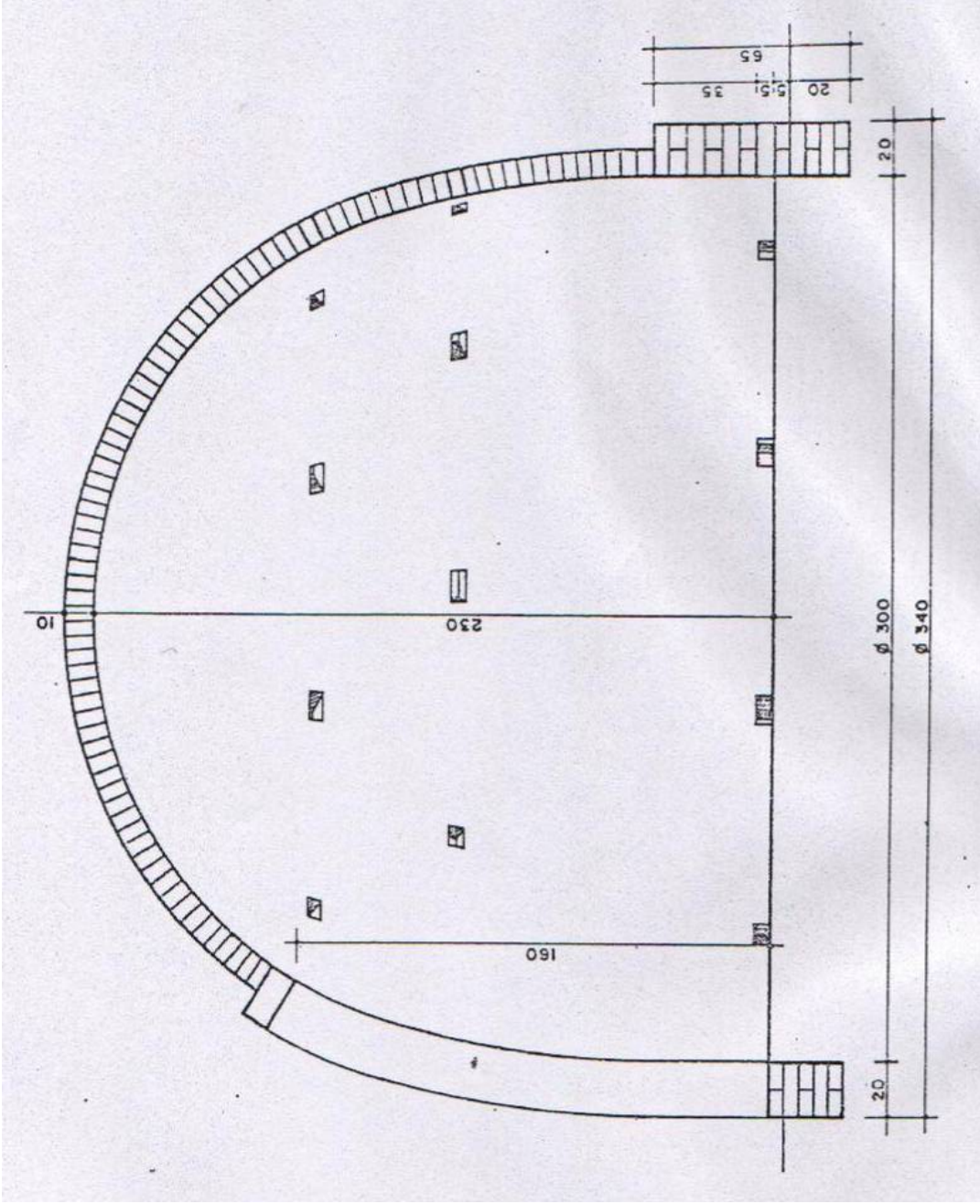


FIGURA 14A. Plano de construcción de la copa o cúpula del horno media naranja.  
Fuente: OLADE. 1999  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

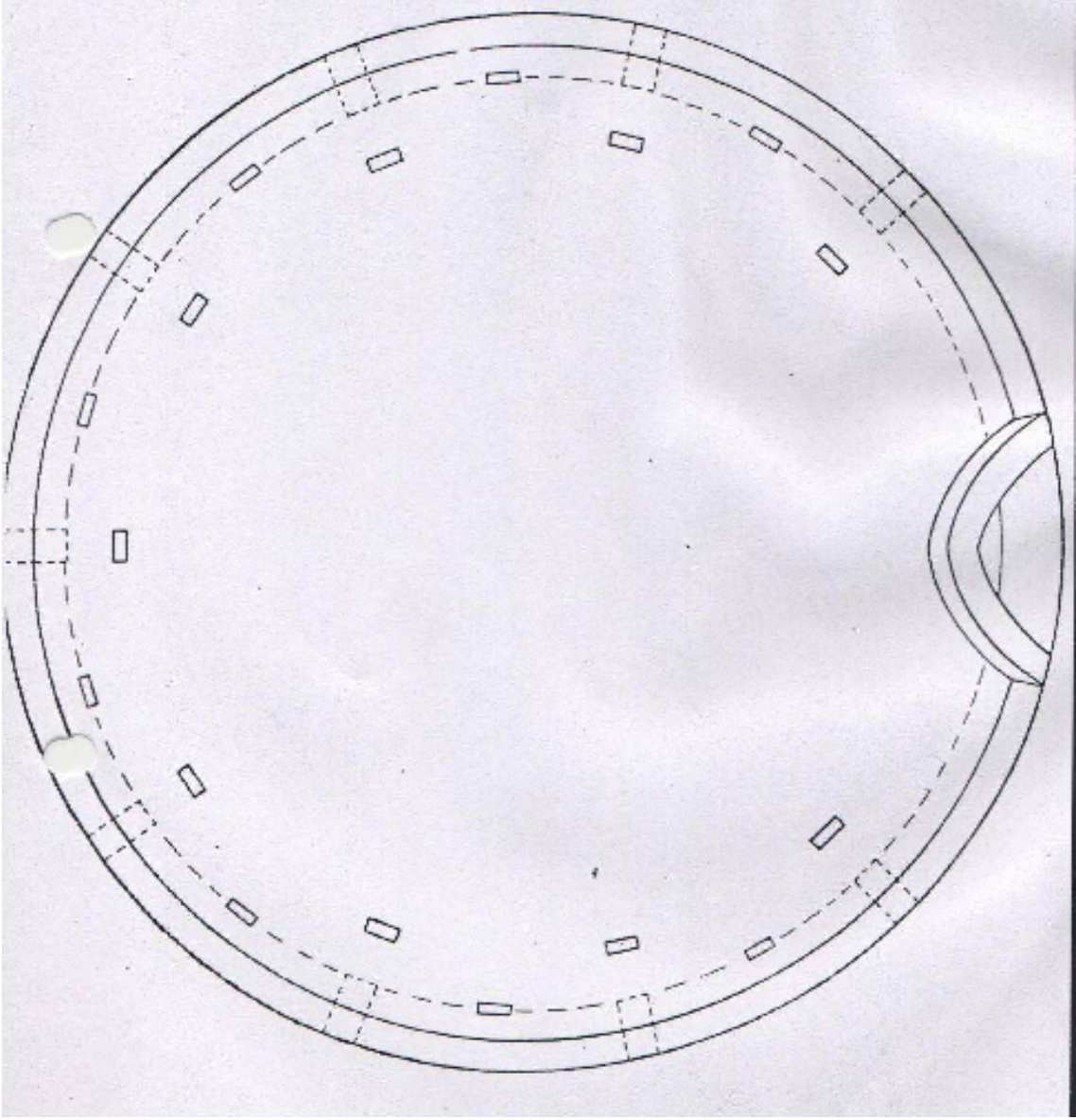


FIGURA 15A. Vista de planta y ubicación de orificios del horno media naranja.

Fuente: OLADE. 1999

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz





FIGURA 16A. Revestimiento con lechada de barro del horno media naranja.

Fuente: Edwin Villagrán

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz





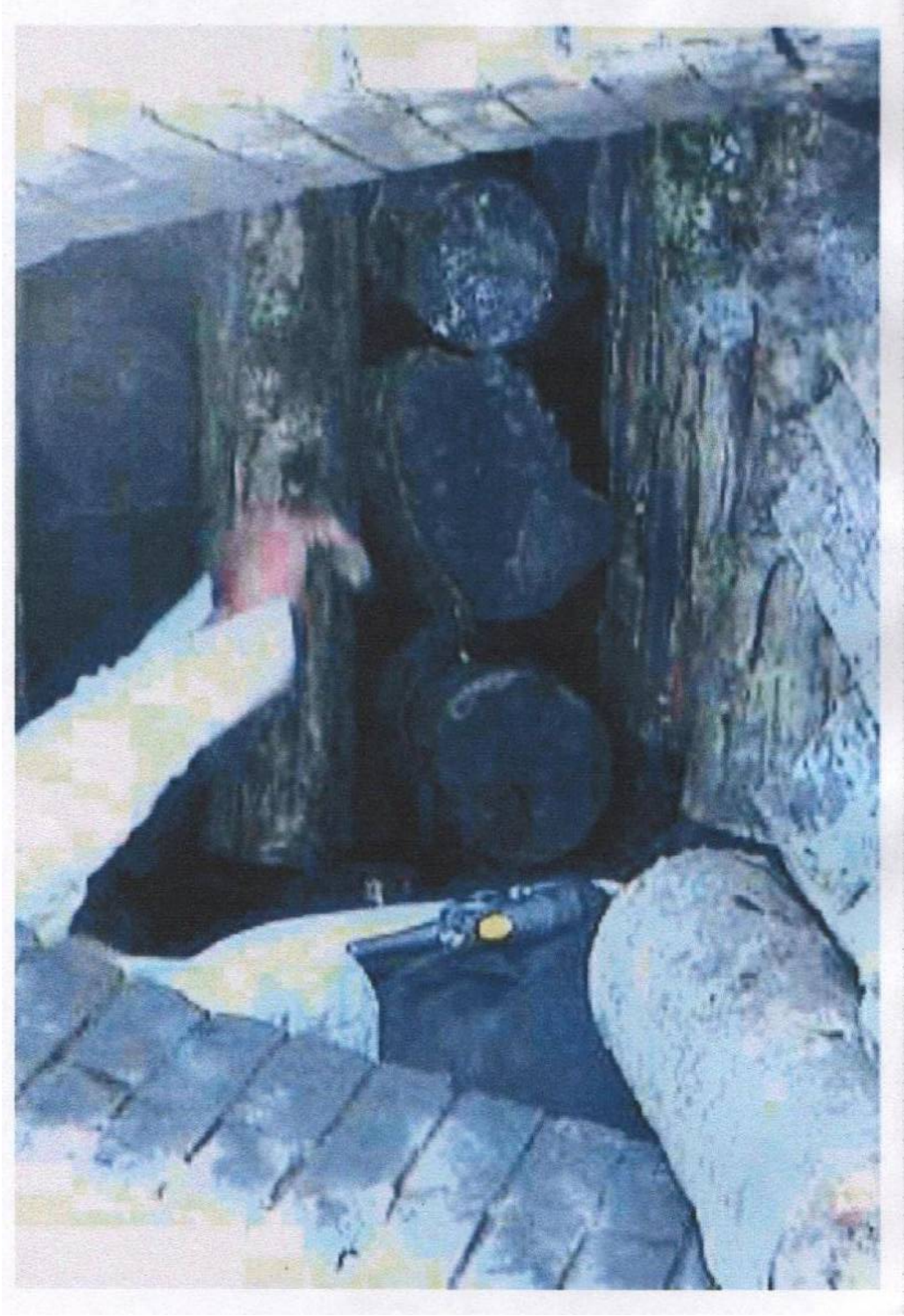


FIGURA 18A. Carga de leña seca en el horno media naranja.

Fuente: Edwin Villagrán

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz



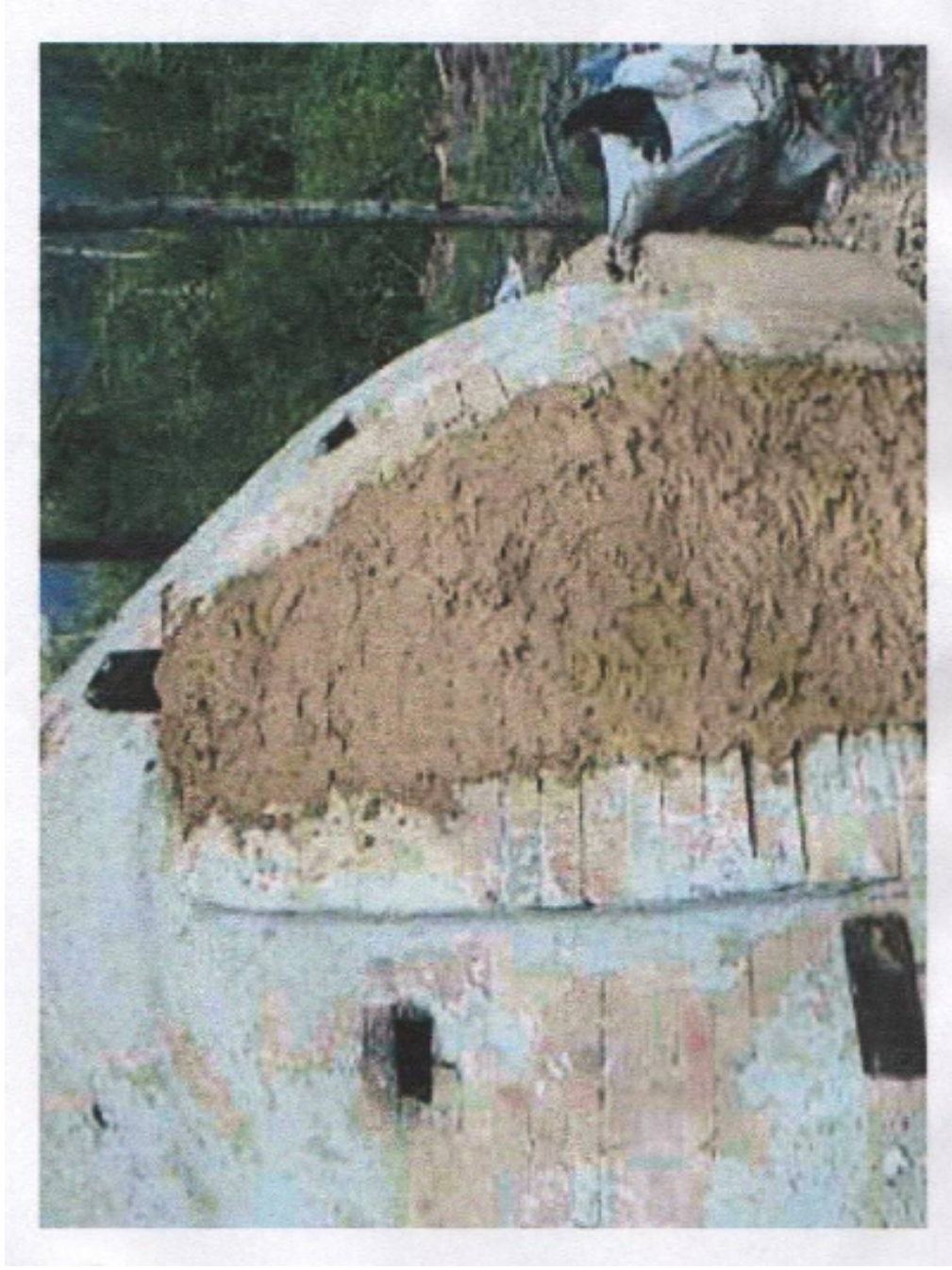


FIGURA 19A. Sellado de puerta con ladrillos y argamasa del horno media naranja.  
Fuente: Edwin Villagrán  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

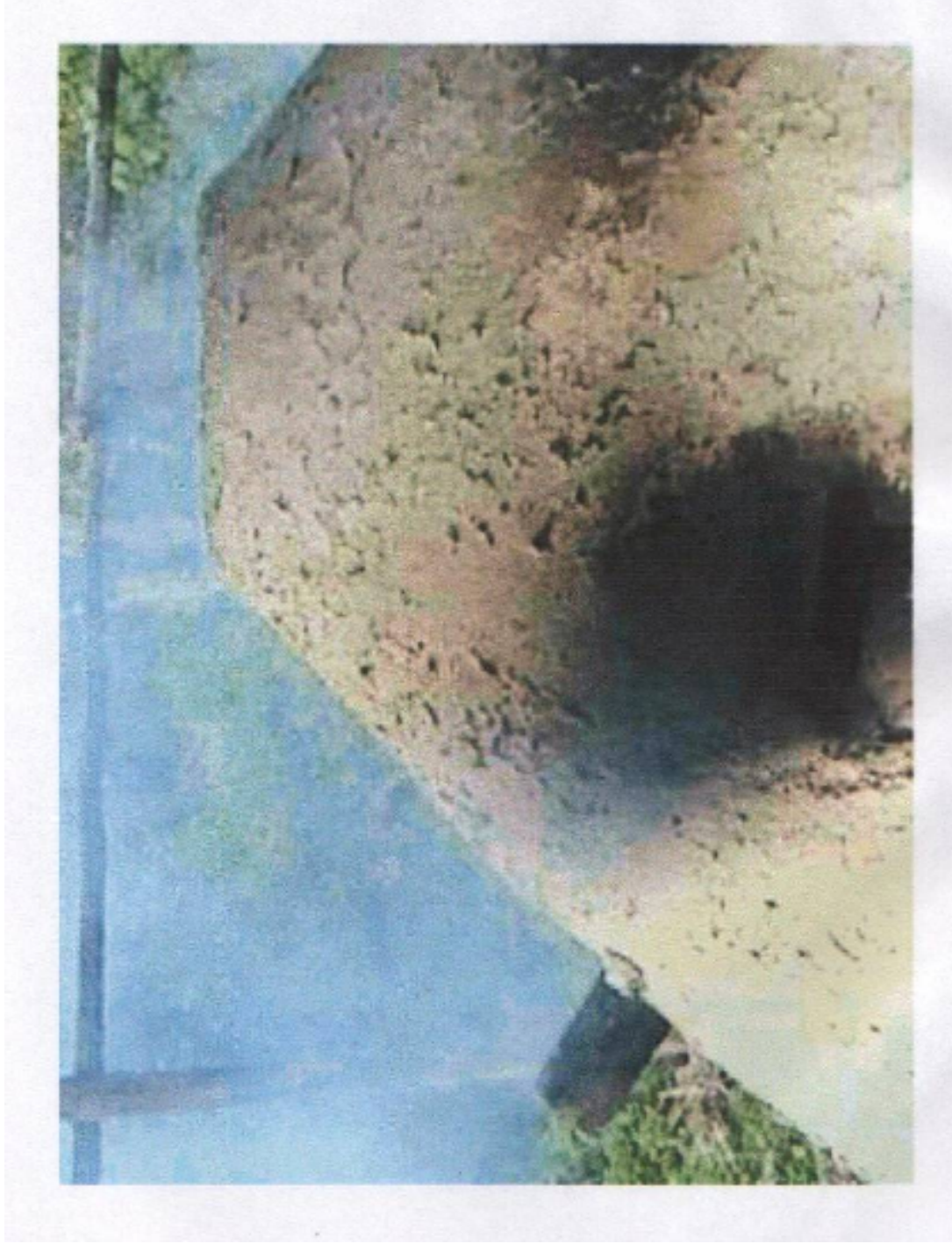


FIGURA 20A. Horno en operación con ventanas ya purgadas al inicio del proceso.

Fuente: Edwin Villagrán

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz





FIGURA 21A. Apertura del horno.  
Fuente: Edwin Villagrán  
Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

CARBON DENTRO DEL HORNO



MUESTRA DE CARBON OBTENIDO



CARBON A PLENA BRAZA EN PARRILLA

FIGURA 22A. Descarga del horno y producto obtenido en la carbonización

Fuente: Edwin Villagrán

Elaborador: Edwin Villagrán Díaz

**Anexo III**

**BOLETA DE SONDEO**

## BOLETA DE SONDEO DE CUALIDADES DE TRES CLASES DE CARBON

Instrucciones: Usar por separado cada muestra de carbón. Coloque el producto arrancador de ignición con fuego y cúbralo con cada muestra de carbón por separado. Responda cada pregunta en orden descendente (de mayor a menor)

- ❖ Qué muestra de carbón presenta mayor cantidad de humo al encender?

Mayor \_\_\_\_\_ Mediano \_\_\_\_\_ Menor \_\_\_\_\_

- ❖Cuál de las muestras sigue soltando humo durante la combustión (10 minutos después del encendido)?

Mayor \_\_\_\_\_ Mediano \_\_\_\_\_ Menor \_\_\_\_\_

- ❖ Según su apreciación, qué muestra de carbón prendió más rápido y mejor?

Primero \_\_\_\_\_ Segundo \_\_\_\_\_ Tercero \_\_\_\_\_

- ❖ Marque con una equis cuando el olor del carbón le guste (si) o desagrade (no)?

**A:** SI \_\_\_ NO \_\_\_    **B:** SI \_\_\_ NO \_\_\_    **C:** SI \_\_\_ NO \_\_\_

- ❖ Quince minutos después del encendido y usando la mano a 30 centímetros de distancia, que carbón suelta más calor?

Primero \_\_\_\_\_ Segundo \_\_\_\_\_ Tercero \_\_\_\_\_

- ❖ Treinta minutos después del encendido y usando la mano a 30 centímetros de distancia, que carbón suelta más calor?

Primero \_\_\_\_\_ Segundo \_\_\_\_\_ Tercero \_\_\_\_\_

- ❖ Ase un pedazo de carne en cada muestra. Alguna de las tres muestras dio mal sabor a la carne?

NO: \_\_\_\_\_ SI: \_\_\_\_\_Cuál? \_\_\_\_\_

- ❖ Marque con la letra de la muestra, el rango de tiempo que tardó con brazas cada una.

Menos de 30 minutos	_____	Entre 30 y 45 minutos	_____
Entre 45 y 60 minutos	_____	Entre 60 y 90 minutos	_____
Entre 90 y 120 minutos	_____	Más de dos horas	_____