

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO
CRECIMIENTO: EUCALIPTO (*Eucalyptus camaldulensis*),
PATAMULA (*Albizia niopoides*), CAULOTE (*Guazuma ulmifolia*) Y
LAUREL (*Cordia alliodora*), PARA LA PRODUCCIÓN
DE CARBÓN VEGETAL EN LA LÍNEA A-13, SECTOR SIS,
SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A**

MANUEL VICENTE ACEITUNO SAGASTUME

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO
CRECIMIENTO: EUCALIPTO (*Eucalytus camaldulensis*), PATAMULA (*Albizia
niopoides*), CAULOTE (*Guazuma ulmifolia*) Y LAUREL (*Cordia alliodora*),
PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN LA LÍNEA A-13, SECTOR
SIS, SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A**

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

POR

MANUEL VICENTE ACEITUNO SAGASTUME

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO**

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

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

RECTOR

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	ING. AGR. MARIO ANTONIO GODÍNEZ LÓPEZ
VOCAL I	DR. TOMÁS ANTONIO PADILLA CÁMBARA
VOCAL II	ING. AGR. M.A. CÉSAR LINNEO GARCÍA CONTRERAS
VOCAL III	ING. AGR. M.SC. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ
VOCAL IV	BR. IND. MILTON JUAN JOSÉ CANÁ AGUILAR
VOCAL V	P. AGR. CRISTIAN ALEXANDER MÉNDEZ LÓPEZ
SECRETARIO	ING. AGR. JUAN ALBERTO HERRERA ARDÓN

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2016

Guatemala, noviembre de 2016

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 la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación **“Evaluación de cuatro especies forestales de rápido crecimiento: eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), patamula (*Albizia niopoides*), caulote (*Guazuma ulmifolia*) y laurel (*Cordia alliodora*), para la producción de carbón vegetal en la línea A-13, sector SIS, San José La Máquina, Suchitepéquez, Guatemala, C.A”** 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 "

MANUEL VICENTE ACEITUNO SAGASTUME

Carné: 199819114

ACTO QUE DEDICO

A mi esposa Anhly Kimmy Gramajo Wug, por ser la mujer que me motivó a terminar la carrera. Que con su paciencia, apoyo y dedicación me ayudó a lograr que este día fuera posible. Gracias por tu ayuda a superarme sin importar las dificultades que encontramos en nuestro camino.

A mi padre René Francisco Aceituno Contreras, el que con su ejemplo de superación y constante especialización en sus estudios me enseñó a ser responsable y perseverante en esta vida. “Padre acá esta uno de los frutos de la inversión que hiciste en nuestra educación”.

A mi madre Teresa de Jesús Sagastume Figueroa, la que con sus consejos, regaños y atenciones me crió, gracias por ser esa madre incondicional. Te dedico este mérito académico.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

Este documento se lo dedico a los habitantes del municipio San José La Máquina, el cual ha sido mi área de trabajo desde hace ya varios años. También se lo dedico a la finca San Francisco fruto del esfuerzo del trabajo de mi padre y a la empresa que en esta propiedad inicie gracias a la ayuda de mi esposa.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero José Luis Alvarado que fue mi supervisor de EPS y me apoyó en la investigación que realicé.

A mi casa de estudios, la Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de Agronomía por formarme como ingeniero agrónomo y prepararme para el ámbito laboral en nuestro país.

A mis hermanos, familiares y amigos que siempre estuvieron dispuestos a motivarme y ayudarme de alguna manera a terminar la carrera.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA A-13 DEL SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.....	1
1.1. PRESENTACIÓN	2
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. METODOLOGÍA	4
1.3.1. <i>Reconocimiento del área</i>	4
1.3.2. <i>Elaboración de boletas para encuestas</i>	4
1.3.3. <i>Revisión de bibliografía</i>	4
1.3.4. <i>Tabulación de información</i>	4
1.3.5. <i>Identificación y priorización de problemas</i>	5
1.4. RESULTADOS	6
1.4.1. <i>Historia</i>	6
1.4.2. <i>Ubicación</i>	8
1.4.3. <i>Datos obtenidos:</i>	9
1.4.4. <i>Jerarquización de problemas</i>	10
1.4.5. <i>Priorización de problemas</i>	10
1.5. CONCLUSIONES	13
1.6. BIBLIOGRAFÍA	14
 CAPÍTULO II. EVALUACIÓN DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO CRECIMIENTO: EUCALIPTO (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>), PATAMULA (<i>Albizia niopoides</i>), CAULOTE (<i>Guazuma ulmifolia</i>) Y LAUREL (<i>Cordia alliodora</i>), PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN LA LÍNEA A-13, SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.....	 15
2.1. INTRODUCCIÓN	16
2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
2.3. MARCO CONCEPTUAL	21
2.3.1. <i>Carbón vegetal</i>	21
2.3.2. <i>Proceso de carbonización</i>	22
2.3.3. <i>Productos y subproductos de la carbonización</i>	24
2.3.4. <i>Conversión leña/carbón</i>	26
2.3.5. <i>Formas de Fabricar Carbón</i>	29
2.3.6. <i>Construcción del horno:</i>	49
2.3.7. <i>Formación de stock</i>	50
2.3.8. <i>Propiedades del carbón vegetal</i>	53
2.3.9. <i>Propiedades físicas</i>	62
2.3.10. <i>Cómo quema el carbón vegetal</i>	65
2.3.11. <i>Normas de carbonización</i>	66
2.3.12. <i>Propiedades a evaluar del carbón vegetal</i>	68

CONTENIDO	PÁGINA
2.3.13. Selección de las propiedades de carbón a utilizar	73
2.4. MARCO REFERENCIAL	77
2.4.1. Descripción general del área.....	77
2.4.2. Recursos naturales	80
2.4.3. Especies Forestales en estudio	82
2.5. HIPÓTESIS	90
2.6. OBJETIVOS.....	91
2.6.1. Objetivo General	91
2.6.2. Objetivos Específicos	91
2.7. METODOLOGÍA	92
2.7.1. Tratamientos y material seleccionado	92
2.7.2. Manejo del experimento	93
2.8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	100
2.8.1. Prueba de densidad	100
2.8.2. Prueba de contenido de ceniza	104
2.8.3. Prueba de fragilidad	109
2.8.4. Grado de ignición	114
2.8.5. Sondeo de aceptación.....	119
2.8.6. Rendimiento en volumen de la conversión leña a carbón	122
2.8.7. Guía dirigida a productores de carbón de cuatro especies forestales.....	125
2.9. CONCLUSIONES	127
2.10. RECOMENDACIONES	128
2.11. APÉNDICES.....	130
2.11.1. Proceso de la producción de carbón vegetal.....	130
2.11.2. Llenado del horno.....	131
2.11.3. Parrilla inicial y respiraderos del horno.....	131
2.11.4. Apilada de leña adentro del horno.....	132
2.11.5. Tapado de la leña	133
2.11.6. Cubierta del horno	134
2.11.7. Chimeneas del horno	134
2.11.8. Diferentes colores de humo según el proceso de carbonización.....	135
2.11.9. Enfriado del horno	135
2.11.10. Producto final Carbón vegetal	136
2.12. ANEXOS	137
2.12.1. Tabla de Tukey.....	139
2.13. BIBLIOGRAFÍA	140
CAPÍTULO III. SERVICIOS PRESTADOS EN LA LÍNEA A-13 SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.....	142
3.1. PRESENTACION	143
3.2. OBJETIVO GENERAL	143
3.3. SERVICIOS PRESTADOS EN LA LÍNEA A-13 SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MÁQUINA, SUCHITEPEQUÉZ.....	143
3.3.1. ELABORACIÓN DE UN VIVERO FORESTAL	143

CONTENIDO	PÁGINA
3.3.1.1. Introducción.....	143
3.3.1.2. Objetivos específicos.....	144
3.3.1.3. Metodología.....	144
3.3.1.4. Resultados.....	146
3.3.1.5. Conclusiones.....	147
3.3.1.6. Recomendaciones.....	147
3.3.1.7. Evaluación.....	147
3.4. PARCELA DEMOSTRATIVA DE ASOCIO DE GANDUL Y AJONJOLÍ.....	148
3.4.1. <i>Introducción</i>	148
3.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	148
3.4.3. <i>Metodología</i>	148
3.4.4. <i>Resultados</i>	150
3.4.5. <i>Conclusiones</i>	151
3.4.6. <i>Recomendaciones</i>	151
3.4.7. <i>Evaluación</i>	151
3.5. PARCELA DEMOSTRATIVA DEL CULTIVO DE ACHIOTE COMO ALTERNATIVA PARA LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS	152
3.5.1. <i>Introducción</i>	152
3.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	152
3.5.3. <i>Metodología</i>	153
3.5.4. <i>Resultados</i>	154
3.5.5. <i>Conclusiones</i>	155
3.5.6. <i>Recomendaciones</i>	155
3.5.7. <i>Evaluación</i>	155
3.6. BIBLIOGRAFÍA.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
<i>Figura 1. Mapa de ubicación San José La Máquina, Suchitepéquez</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2. Carbonera en fosa de tierra durante la etapa de carga.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3. Funcionamiento de un horno grande de fos.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. Fosa de tierra durante la quema. Obsérvense las chimeneas de acero y la cubierta hecha con láminas, selladas con tierra.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5. Los respiradores de los hornos de fosa pueden ser forrados con madera cuando el suelo es suelto, evitando la necesidad del acero.</i>	<i>35</i>
<i>.Figura 6. Carbonera de acero y fosa de tierra. Observar las chimeneas para el humo que están enterradas en el suelo y el tipo de leña empleado</i>	<i>37</i>
<i>Figura 7. Carbonera de parva de tierra en construcción indicando el punto de encendido.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 8. Parva de tierra durante su construcción. Observar las trozas de gran diámetro colocadas en la base de las pilas. Ghana.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 9. Funcionamiento del horno Casamance y su chimenea</i>	<i>46</i>
<i>Figura 10. Descarga en bolsas del carbón vegetal de una carbonera de tierra. Observe el rastrillo usado para separar el carbón mezclado en la capa de tierra durante las primeras etapas de la descarga. Ghana.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11. Funcionamiento de la Parva Sueca con Chimenea.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 12. Ubicación del área de estudio</i>	<i>78</i>
<i>Figura 13. Proceo de la Producción de carbón vegetal</i>	<i>130</i>
<i>Figura 14. Llenado del horno</i>	<i>131</i>
<i>Figura 15. Parrilla inicial y respiraderos del horno</i>	<i>131</i>
<i>Figura 16. Apilada de leña adentro del horno</i>	<i>132</i>
<i>Figura 17. Tapado de la leña</i>	<i>133</i>
<i>Figura 18. Cubierta del horno</i>	<i>134</i>
<i>Figura 19. Chimeneas del horno.</i>	<i>134</i>
<i>Figura 20. Diferentes colores de humo según el proceso de carbonización.</i>	<i>135</i>
<i>Figura 21. Enfriado del horno</i>	<i>135</i>
<i>Figura 22. Producto final carbón vegetal</i>	<i>136</i>
<i>Figura 23. Tabla de Tukey</i>	<i>139</i>
<i>Figura 24. Plántulas emergiendo en el vivero forestal.</i>	<i>145</i>
<i>Figura 25. Tapesco de manaco retirado del vivero.</i>	<i>146</i>
<i>Figura 26. Planta de Gandul</i>	<i>150</i>
<i>Figura 27. Plantación de Achiote</i>	<i>154</i>

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
<i>Cuadro 1. Matriz de jerarquización de problemas de la línea A-13.....</i>	10
<i>Cuadro 2. Matriz de priorización de problemas.....</i>	10
<i>Cuadro 3. Efecto de la temperatura de carbonización sobre rendimientos y composición del carbón vegetal.....</i>	28
<i>Cuadro 4. Capacidad del horno Casamance.....</i>	45
<i>Cuadro 5. Algunos análisis típicos de carbón vegetal.....</i>	60
<i>Cuadro 6. Conversión leña a carbón.....</i>	123
<i>Cuadro 7. Ganancia obtenida por metro cubico para cada especie.....</i>	124
<i>Cuadro 8. Guía de las propiedades de cuatro especies para la producción de carbón para la producción de carbón vegetal en base a los resultados obtenidos en esta investigación.....</i>	125
<i>Cuadro 9. Propiedades principales por especie para los productores de la zona.....</i>	125

RESUMEN GENERAL

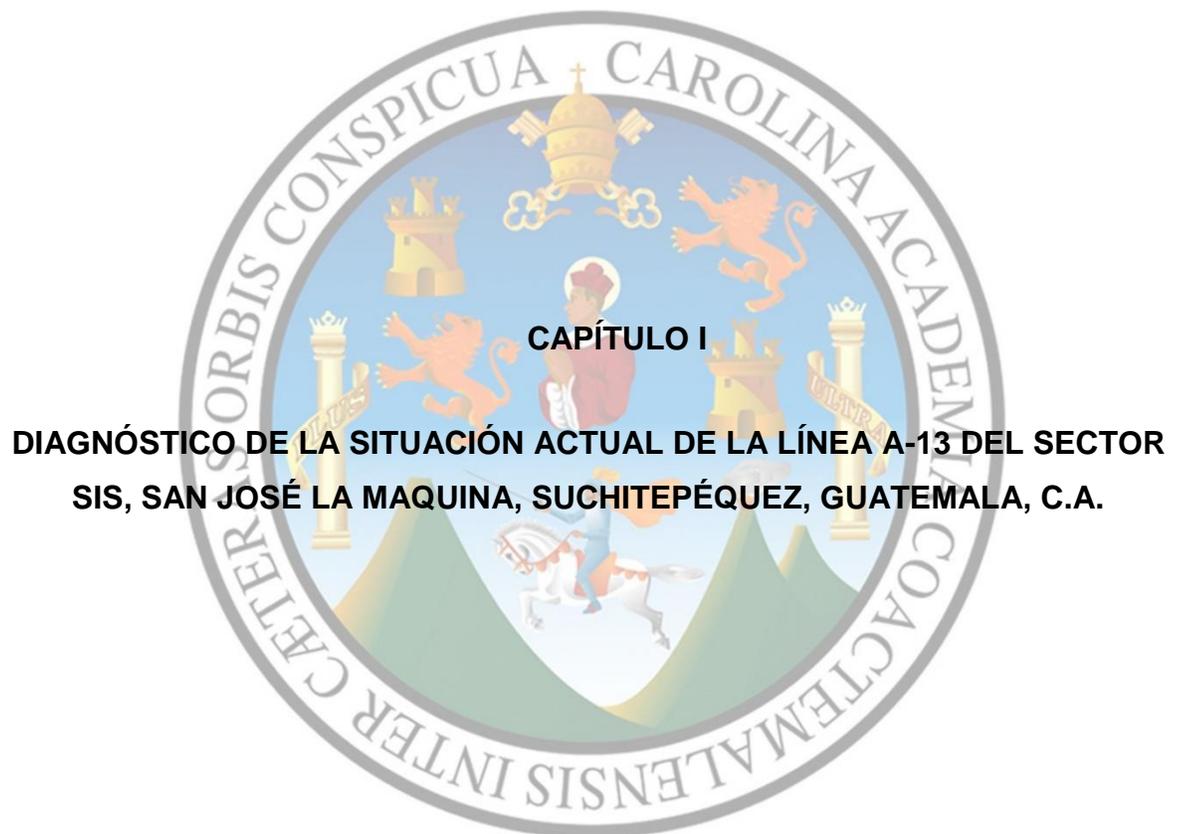
Durante el programa de Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), de la Facultad de Agronomía y el apoyo de la Finca San Francisco, se desarrolló un estudio integral durante el periodo febrero-agosto del 2013, que empezó con el planeamiento y ejecución de un diagnóstico de las características, condiciones y limitantes de la Línea A13 sector SIS, observando y detectando los principales problemas que afectan a los productores.

El primer capítulo, se expone el informe final de diagnóstico de la Línea A13 sector SIS, el objetivo fue conocer la situación actual de área, en donde encontramos que las principales actividades económicas son la producción de maíz y ajonjolí. Entre sus principales problemáticas está el alto costo del fertilizante, la falta de asistencia técnica, la falta de organización y la falta de riego.

El segundo capítulo, presenta la evaluación de cuatro especies forestales para la producción de carbón vegetal, debido a que esta es una de las actividades de los pobladores del área en estudio. En la investigación se evaluaron muestras de carbón de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), patemula (*Albizia niopoides*), caulote (*Guazuma ulmifolia*) y laurel (*Cordia alliodora*), especies forestales de rápido crecimiento con el fin de obtener una guía destinada a los productores, en donde se analizaron las siguientes propiedades: densidad, fragilidad, contenido de ceniza y tiempo de ignición. Concluyendo que la especie *Albizia niopoides*, obtuvo las mejores propiedades de calidad de carbón y fue la que mejor aceptación obtuvo de parte de los consumidores.

En el tercer capítulo, se presenta el informe final de servicios prestados a la comunidad. Tomando en cuenta los bajos precios de venta que los productores obtienen por el cultivo de maíz-ajonjolí se plantearon varias alternativas para incrementar sus ingresos, capacitando a los agricultores sobre el cultivo de achiote

para diversificar sus cultivos. Se capacitó sobre el asocio gandul-ajonjolí demostrando que el gandul mejora la fertilidad del suelo aumentando la producción de ajonjolí. Se estableció un vivero forestal reproduciendo plántulas de melina, teca, matiliguete y cedro., en donde la especie que obtuvo mejor aceptación fue la melina debido a su corto turno de aprovechamiento.



CAPÍTULO I

**DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA LÍNEA A-13 DEL SECTOR
SIS, SAN JOSÉ LA MAQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

1.1. PRESENTACIÓN

La línea A-13 sector SIS del municipio San José La Máquina pertenece al departamento de Suchitepéquez, está ubicado a 196 km de la ciudad capital. La principal actividad económica es la agricultura y sus principales cultivos son el maíz en la temporada de primera (mayo-julio), y el ajonjolí en la temporada de segunda (agosto-octubre). La línea A-13 es una de las comunidades interesadas en un cambio en sus actividades agrícolas.

Para entender bien los procesos que se llevan a cabo dentro de la comunidad se debe conocer los aspectos sociales, económicos y técnicos de la misma, que hasta ahora no se conocen.

El diagnóstico se realizó durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), contiene información sobre el establecimiento y organización de la comunidad. Con la finalidad de buscar alternativas o soluciones a los problemas priorizados en la rama agrícola y forestal.

Los resultados de este documento se obtuvieron por medio de observaciones, visitas a los agricultores, entrevistas y revisiones bibliográficas de trabajos de graduación realizados por estudiantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Además, también se visitó las instalaciones del ICTA en la línea A-5 y el ICTA de la línea B-4, para recabar información de la comunidad.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Conocer la situación actual de la línea A-13 del sector SIS, San José La Máquina.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Describir el área de estudio y las principales actividades económicas de la línea A-13 sector SIS.
- Identificar la problemática en la línea A-13 del sector SIS.

1.3. METODOLOGÍA

1.3.1. Reconocimiento del área

Se reconocieron las áreas de cultivo y se hicieron visitas domiciliarias para conocer a los agricultores de la línea A-13.

1.3.2. Elaboración de boletas para encuestas

Se elaboró una boleta para obtener información de la comunidad, indagando en aspectos relacionados con la tenencia de la tierra, uso de la tierra, servicios básicos, forma de organización, actividades productivas, ingresos, etc., esta fue dirigida a los dirigentes de los consejos comunitarios de desarrollo y agricultores. Durante las visitas se tuvo una charla directa y se pudo observar el interés de cambiar su sistema tradicional de producción.

1.3.3. Revisión de bibliografía

Se consultó información generada anteriormente por el Instituto de Ciencias y Tecnologías Agrícolas (ICTA), de la línea A-5 y B-4, en donde se consultaron algunas tesis referentes al tema del cultivo de piñón en la comunidad el Porvenir, así como también se recopiló información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).

1.3.4. Tabulación de información

Se empezó la tabulación de información a partir de las boletas que se recopilaron a nivel de campo con los dirigentes y el alcalde auxiliar de la línea, así mismo con el cuestionario realizado a los productores. Se recopiló también información proporcionada por el MAGA para completar la información.

1.3.5. Identificación y priorización de problemas

Se identificaron los principales problemas que afectan a los cultivos. Se utilizó la matriz de priorización de problemas, para identificar los principales problemas presentes en los cultivos de la Línea A-13.

1.4. RESULTADOS

1.4.1. Historia

Lo que hoy son los parcelamientos Uno y Dos la Máquina, tienen una extensión de 764 caballerías, 4 manzanas y 2,551.54 varas cuadradas de tierra, ubicadas dentro de las jurisdicciones de los municipios San José La Máquina en Suchitepéquez y San Andrés Villa Seca en Retalhuleu, comprenden en alto porcentaje lo que fuera la extensa hacienda Trapiche Grande, que junto a otras tierras aledañas pertenecían a la Reina Guillermina de Holanda.

Esta hacienda con una respetable extensión de selva inhóspita, colindaba con el límite del departamento de Escuintla por el lado de Tiquisate y abarca como ha quedado dicho, extensos territorios de Cuyotenango en Suchitepéquez y San Andrés Villa Seca en Retalhuleu.

Fue el 26 de Marzo de 1,956 cuando el gobierno de turno expropió la Hacienda Trapiche Grande, pero las negociaciones y los trabajos de factibilidad y planificación de los parcelamientos se iniciaron en 1954 y terminaron en 1955 para dar paso a la adjudicación de tierras.

La colonización fue costosa y dura, por tratarse en su mayoría de selva virgen que constituía el hábitat de una de las más grandes y más variadas faunas salvajes de América. Era el hábitat de tigres, león americano, jabalís o coches de monte, dantas, venados, tepescuincles, monos de diferentes especies y aves salvajes.

Hoy cuenta el parcelamiento la Máquina en total con 1,357 parcelas, de las cuales 580 que comprenden los sectores "A" y "B" pertenecen al municipio de San José La Máquina del departamento de Suchitepéquez, con un Centro Urbano bastante poblado, que lleva el nombre de "San José La Máquina", y el resto como se ha dicho está en jurisdicción de San Andrés Villa Seca en el departamento de Retalhuleu. (Benítez, 1987)

Las principales actividades económicas son la agricultura cultivando maíz en los meses de mayo a julio y ajonjolí en los meses de agosto a octubre. Algunos también se dedican a la crianza de ganado bovino para carne y leche, también existen algunas pequeñas explotación de aves y un poco de apicultura. Existen también pequeñas áreas reforestadas con plantaciones de eucalipto y melina.

En los aspectos socio-económicos cabe mencionar que el maíz ocupa el renglón más importante en la producción, utilizando parte para su autoconsumo y lo demás para la venta, el cual llegan a comprar al lugar de producción los intermediarios, pagando un precio bajo, tomando como base el precio establecido en el mercado. En orden de importancia le sigue el cultivo de ajonjolí el cual se siembra de segunda, después de la siembra del maíz. La preparación del suelo, la mayor parte de los agricultores lo hacen de forma mecanizada, con lo cual aumentan sus costos, todo esto aunado al precio de los insumos, pérdidas por plagas, enfermedades, bajos precios y/o bajos rendimientos hace del maíz un cultivo poco rentable, dando como resultado ingresos poco adecuados. El tipo de migración predominante es rural-rural y urbana, procedente en su mayoría del altiplano y en algunos casos del oriente del país. Las religiones existentes son la católica y la protestante.

En la línea A-13 los productores le dan a la tierra un uso agrícola, con la producción de maíz (*Zea mays*) y ajonjolí (*sesamum indicum* L.) pero dichos cultivos no generan ganancias superiores a los gastos que implica el sostenimiento de los cultivos, además no existe un mercado fijo al cual puedan vender sus productos y que estos pueda retribuir ganancias considerables.

Los costos de la producción de maíz se incrementan debido a los altos precios de la preparación del suelo, mano de obra, insumos, precios de arrendamiento, unidos a las pérdidas por plagas y enfermedades, bajos rendimientos y bajos precios en la venta. Afectando todo esto los ingresos de los agricultores, reflejando una baja rentabilidad del cultivo. (Mora, 2009)

1.4.2. Ubicación

Según el mapa de zonas de vida basado en el sistema de Holdridge, la línea A-13 pertenece a la zona de Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) bmh-s(c). Los meses de lluvia son de mayo a octubre, con una estación seca bien definida entre noviembre y abril, teniendo una precipitación media anual de 1860 mm y 155 mm mensuales. (INSIVUMEH, 2007)

La temperatura media anual es de 27 grados centígrados, con una máxima de 35 grados y una mínima de 22 grados. La humedad relativa media anual es de 94%, con una máxima de 100% y una mínima de 54%. Presenta una altitud sobre el nivel del mar que va desde los 40 msnm hasta los 70 msnm. Los suelos se clasifican en el orden de los Inceptisoles, suborden Usteps, originarios de ceniza volcánica cementada donde predomina la arcilla plástica. La línea colinda con el río SIS y presenta 2 corrientes efímeras denominadas el zanjón el Armado. (MAGA, 2001)

En la línea la tierra está distribuida en la siguiente manera: parcelas, calles, fajas, micro parcelas. Las parcelas son de 28 manzanas o 20 hectáreas, tienen 250 metros de frente y 800 metros de fondo. Hay parcelas de 14 manzanas o 10 hectáreas que tienen el mismo frente y 400 metros de fondo.

Las calles son las vías de acceso a las parcelas, van de este a oeste y tienen 20 metros de ancho y 6 km de largo. Las fajas con áreas que se debieron dejar como barreras rompevientos y de vocación forestal, sirven de fondo y cabecera de las parcelas, tienen 40 metros de ancho y el largo de la calle. Las micro parcelas son áreas menores de 15 manzanas donde de igual forma se cultivan maíz y ajonjolí. (Mora, 2009)



Figura 1. Mapa de ubicación San José La Máquina, Suchitepéquez
Fuente: Propia

1.4.3. Datos obtenidos:

Principales problemas que afectan a los cultivos:

- Falta de asistencia técnica
- Alto costo del fertilizante
- Falta de sistemas de riego
- Falta de organización de los productores

1.4.4. Jerarquización de problemas

Cuadro 1. Matriz de jerarquización de problemas de la línea A-13.

Problemas	Asistencia Técnica	Falta de organización	Falta de riego	Costo de fertilizante
Asistencia Técnica		Asistencia Técnica	Asistencia Técnica	Costo de fertilizante
Falta de organización			Falta de organización	Costo de fertilizante
Falta de riego				Costo de fertilizante
Costo de fertilizante				

Fuente: Propia.

La matriz de jerarquización de problemas (Cuadro No. 1) indica que los problemas principales son: el costo del fertilizante, asistencia técnica, falta de organización y por último la falta de riego.

1.4.5. Priorización de problemas

Cuadro 2. Matriz de priorización de problemas

Problema	Frecuencia	Rango
Asistencia Técnica	2	2
Falta de organización	1	3
Falta de riego	0	4
Costo de fertilizante	3	1

Fuente: Propia.

En la priorización de problemas Cuadro No. 2 se observa que el principal problema en la línea A-13 de acuerdo al rango es el alto costo de los fertilizantes, factor que es influenciado directamente por el alza del precio del petróleo y el uso de variedades mejoradas altamente exigentes en nutrientes. El segundo problema detectado es la falta de asistencia técnica debido a que la mayoría siembra y cosecha los cultivos de manera tradicional a como les enseñaron sus ancestros y desconocen de mejores técnicas de manejo de sus cultivos. Como tercer problema está la falta de organización influyendo esto directamente en la comercialización de sus cosechas, vendiendo cada quien por separado a intermediarios que pagan precios bajos por el maíz y el ajonjolí, en vez de organizarse y ofrecer en conjunto para obtener mejores precios ofreciendo mayores cantidades y calidades de las cosechas. Por último tenemos la falta de riego en donde se demuestra que ninguno de los productores posee sistemas de riego para producir en la época de verano, cultivando la tierra únicamente en la temporada de invierno.

Las condiciones climáticas del área han hecho que la línea A-13 se dedique a la producción de maíz/ajonjolí de secano ya que no se cuenta con una fuente de agua para el riego de los cultivos, sin embargo para aprovechar al máximo el periodo de lluvia se ha establecido una siembra encajada de maíz/ajonjolí.

En esta comunidad no tienen una alternativa de producción durante la época seca que abarca de noviembre a mayo que son alrededor de 5 meses sin producir ningún tipo de cultivo.

Como consecuencia de la falta de organización es que el mercado para estas comunidades es bastante inestable, ya que varía el precio de venta de un quintal de maíz todos los años. Este varía según los precios en el mercado local, los precios están determinados por variaciones en la oferta, es decir que las temporadas de cada grano influye en su abundancia o escasez, desplazando la curva de oferta. A esta problemática se incluye el porcentaje que obtiene o que se adueña el intermediario ya que este paga al agricultor entre Q. 90-110 por quintal de maíz y

cuando el intermediario vende el mismo costal lo vende entre Q. 130-150, los cuales podría ganar un agricultor si se tuviera una buena organización y pudieran vender ellos mismos (sin intermediarios) su producción.

1.5. CONCLUSIONES

- Las principales actividades económicas del parcelamiento A-13 sector SIS son la producción de maíz y ajonjolí
- Los principales problemas identificados en el parcelamiento A-13 sector SIS son el alto costo del fertilizante, la falta de asistencia técnica, la falta de organización y la falta de riego.

1.6. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Benítez, JF. 1987. Diagnostico general de la línea B-6 del parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 150 p.
- 2) INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2007. Datos de las estaciones meteorológicas Champerico y Chojó, ubicadas en Retalhuleu y Suchitepéquez, Guatemala. Guatemala. Excell.
- 3) MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Sistemas de información geográfica, departamento de Suchitepéquez y Retalhuleu, Guatemala, 1 CD.
- 4) Mora, Mejicanos JE. 2009. Evaluación de la introducción de piñón (*Jatropha curcas* L.) Al sistema productivo de la comunidad El Porvenir en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Suchitepéquez. Trabajo de Graduación Ing. Agr. Guatemala, USAC. 143 p.



Polando Ramíez

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE RÁPIDO CRECIMIENTO: EUCALIPTO (*Eucalyptus camaldulensis*), PATAMULA (*Albizia niopoides*), CAULOTE (*Guazuma ulmifolia*) Y LAUREL (*Cordia alliodora*), PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN LA LÍNEA A-13, SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MAQUINA, SUCHITEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

EVALUATION OF FOUR SPECIES OF RAPID GROWTH: EUCALYPTUS (*Eucalyptus camaldulensis*), PATAMULA (*Albizia niopoides*), CAULOTE (*Guazuma ulmifolia*) AND LAUREL (*Cordia alliodora*), FOR THE PRODUCTION OF CHARCOAL IN THE LINE A-13, SECTOR SIS , SAN JOSÉ LA MAQUINA, SUCHITEPEQUEZ, GUATEMALA , C.A.

2.1. INTRODUCCIÓN

Se estima que el 60% de toda la madera extraída en el mundo se quema como combustible, ya sea directamente o transformada en carbón vegetal. La proporción de leña que se emplea para la fabricación de carbón vegetal no se conoce con certeza, pero debe ser alrededor del 25% de la cantidad arriba mencionada, es decir, cerca de 400 millones de metros cúbicos por año (FAO 1983). La mayor parte del carbón se produce con técnicas tradicionales que se han transmitido de generación en generación entre los pobladores de bosques y selvas, quienes lo utilizan para autoconsumo o para comercializarlo en ciudades o poblaciones rurales donde se emplea como fuente de calor para la preparación de alimentos. Para producir carbón vegetal se puede emplear cualquier material leñoso, sin embargo, comúnmente se hace de leña de encino (*Quercus* sp.), pues las características de esta especie hacen que su carbón sea de mejor calidad en comparación con otras.

Existen en el mundo diferentes diseños para los hornos carboníferos y la mayoría están en condiciones de dar buenos resultados (FAO 1983). Estos hornos deben ser de sencilla fabricación y sus materiales resistentes a las tensiones de calentamiento y enfriado al que van a ser sometidos continuamente, así como los efectos propios del clima. (FAO, 2003)

El uso del carbón vegetal obtenido de la leña se remonta probablemente al tiempo en que el hombre aprendió a manejar el fuego y su uso es tan variado. Se emplea principalmente como combustible doméstico, para cocinar y calentar, pero es también un importante combustible que se usa en grandes cantidades en la industria de la fundición y las forjas; en la extracción y refinado de metales (especialmente de hierro), y en numerosas aplicaciones metalúrgicas y químicas como purificador de aire y líquidos. El carbón también se utiliza en la industria farmacéutica para el tratamiento de diversas enfermedades, principalmente gastrointestinales. Por lo anterior, para los países en vías de desarrollo y dotados de

bosques, la exportación de carbón vegetal puede ser una industria provechosa. (CATIE, 2003)

El carbón vegetal es el residuo que queda después del proceso de pirolisis o carbonizado en el quemado de madera, dentro de un espacio con la entrada de aire controlado, donde se evita que se quemara totalmente la madera y quede reducida a cenizas.

El proceso de quemado que produce carbón vegetal inicia cuando llega a los 300°C. En este momento el calor atrapado dentro del horno es aprovechado más eficientemente y el proceso de carbonización se mantiene por sí solo hasta llegar a los 500°C, momento en que se deja enfriar el carbón sin entrada de aire, para después poder descargarlo. Con la implementación de estas tecnologías, se pueden aprovechar las ramas, trozos, residuos de la tala, subproductos de raleo, especies arbóreas no aptas para madera y otras partes del árbol que normalmente no son utilizados en el aserrío o para el aprovechamiento de celulosa, lo que permite hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos forestales.

En el municipio de San José La Máquina la producción de carbón se hace en hornos artesanales, donde la leña se apila, se cubre con láminas y tierra. Estos tienen la ventaja de que pueden hacerse en el mismo lugar donde se corta la leña y no requieren mayor inversión para la construcción del horno.

El municipio es una zona productora de carbón vegetal, pero los productores poseen pocos conocimientos sobre que especies al ser carbonizadas den como resultado un producto de calidad y una producción de manera más eficiente.

A continuación se evalúan cuatro especies de rápido crecimiento, eucalipto, patamula, caulote y laurel para la producción de carbón vegetal en el parcelamiento La Máquina. El estudio ayudó a los productores de la zona a tener una guía sobre que especies forestales presentan los mejores rendimientos en cuanto a calidad del

carbón vegetal, evaluando y describiendo propiedades de densidad, contenido de cenizas, fragilidad, tiempo de ignición y poder así obtener un producto de buena calidad para aumentar sus ingresos.

En la búsqueda de opciones viables, tomando en cuenta los recursos de los productores y preferencias en cuanto a la oferta y demanda de leña, se consideró establecer una guía de las especies forestales a utilizar en cuanto a su rendimiento para producir carbón que permitan la obtención de un producto de buena calidad, que proporcionen un valor agregado y que sea aceptado y preferido por los consumidores y comerciantes. La producción de carbón vegetal demostró ser es un canal de aprovechamiento integral y sostenible de las plantaciones y remanentes de bosque. Generando nuevas formas de empleo, incidiendo positivamente en los ingresos de los productores. (Villagrán, 2009)

En la presente investigación se evalúan cuatro especies forestales de fácil acceso y adquisición. Utilizando hornos artesanales tipo parva modificado, aplicando las mismas técnicas para hacer carbón que usan los productores del municipio, apilando y tapando la leña a carbonizar con láminas y tierra.

2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el parcelamiento la máquina, existe un gran potencial para aprovechar el excedente de las plantaciones artificiales y aun algunos remanentes de bosques y regeneraciones naturales en donde se extrae principalmente madera de aserrío, madera de tiro y postes para secar tabaco o construcción de ranchos.

Aunque existe una alta demanda de leña para usos domésticos, el precio en el mercado del metro cubico oscila entre los Q 200.00 siendo este un precio no muy alentador como para obtener ingresos que justifiquen una comercialización rentable y sostenible.

La conversión de leña a carbón mediante hornos artesanales en esta zona han demostrado aumentar el valor de la misma entre un 145 % a un 180 % respectivamente, debido a que un metro de cubico de leña que representa un valor en el mercado entre los Q 200.00, rinde aproximadamente mediante la carbonización un promedio de 7 a 8 sacos, los cuales se venden a un precio de Q 70.00 al consumidor final generando un ingreso extra a los productores de Q 290.00 a Q 360.00.

La alta disponibilidad en campo de subproductos de diámetros menores y subproductos de especies latifoliadas marginadas de la industria, generados por el corte de *Eucalyptus Camadulensis*, *Tectona Grandis*, *Cordia Alliodora*, *Guasuma ulmifolia*, *Albizia niopoides*, *Tabebuia Donell Smithii*, *Gmelina Arborea*, etc. en bosques naturales y raleo de plantaciones, mantienen abierta una amplia ventana de posibilidades y la búsqueda de alternativas tecnológicas y de nuevos nichos de mercado para dar salida a estos productos, que permitan dar un uso más racional a los recursos naturales, que ya son limitados.

La leña como combustible tiene un potencial restringido con el paso del tiempo, ya que sufre deterioro y decaimiento de la madera por hongos, bacterias e insectos,

por ello al convertirla en carbón, se puede prolongar sus posibilidades de uso 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 usan estos métodos para hacer quizás, más carbón vegetal que por cualquier otro método. (Villagrán, 2009)

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Carbón vegetal

El carbón es un término genérico para designar una gran variedad de materiales sólidos con un elevado contenido de carbono. 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.

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 **“pirolisis”**, que hace que la

madera se descomponga químicamente, para dejar un residuo sólido llamado **carbón vegetal** y no se queme 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”. (Villagrán, 2009)

2.3.2. 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.

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 procesado 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.

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.

La madera con temperatura cercana a los 270°C comienza a descomponerse espontáneamente o a fraccionarse. El proceso de pirolisis 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.

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.

En realidad, no se requiere aire en el proceso de la pirolisis, 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 pirolisis, 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. (Villagrán, 2009)

2.3.3. 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 remanécete. 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 de 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.

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.

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.

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.

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 al suelo o llegar a mantos freáticos.

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 pueden llegar a sustituir al Diesel de origen fósil. (Guardado, 2010)

2.3.4. Conversión leña/carbón

La fase de la carbonización puede ser decisiva en la fabricación de carbón vegetal, si bien no se trata de la más costosa. A menos que se complete lo más eficientemente posible, puede crear un riesgo para la operación global de la producción de carbón, puesto que los bajos rendimientos en la carbonización repercuten a lo largo de toda la cadena de producción, en la forma de mayores costos y desperdicios de los recursos. (Benítez, 1987)

La madera consiste de tres componentes principales: celulosa, lignina y agua. La celulosa, la lignina y algunas otras materias están fuertemente ligadas entre sí y constituyen el material denominado madera. El agua es absorbida o retenida como Moléculas de agua en la estructura celulosa/lignina. La madera secada al aire o "estacionada" contiene todavía 12-18% de agua absorbida. La madera en crecimiento, recientemente cortada o "no estacionada", contiene además agua líquida, llevando el contenido total de agua a alrededor del 40-100%, expresado en porcentaje del peso de la madera seca al horno.

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, si se usa lo más posible al sol para el procesado de la madera antes de la carbonización, se mejora mucho la eficiencia. El agua que queda en la madera que tiene que ser carbonizada, deberá ser evaporada en la fosa o en el horno, y esta energía deberá proporcionarse quemando parte de la misma madera, que podría ser en vez transformada en carbón vegetal aprovechable.

El primer paso, en la carbonización en el horno, es secar la madera a 100° C, o menos, hasta un contenido cero de humedad, luego se aumenta la temperatura de la madera secada al horno a alrededor de 280°C. La energía para estas etapas viene de la combustión parcial de parte de la madera cargada en el horno o en la fosa, y es una reacción que absorbe energía o endotérmica.

Cuando la madera está seca y calentada a alrededor de 280°C, comienza espontáneamente a fraccionarse, produciendo 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. Se deja entrar aire en el horno o fosa de carbonización para que parte de la madera se queme, y el nitrógeno de este aire estará también presente en el gas. El oxígeno del aire será gastado en la quema de parte de la madera, arriba de la temperatura de 280°C. Libera energía, por lo que se dice que esta reacción es exotérmica.

Este proceso de fraccionamiento espontáneo o carbonización, continúa hasta que queda sólo el residuo carbonizado llamado carbón vegetal. A menos que se proporcione más calor externo, el proceso se detiene y la temperatura alcanza un máximo de aproximadamente 400°C. Sin embargo, este carbón contiene todavía apreciables cantidades de residuos alquitranosos, junto con las cenizas de la madera original. El contenido de cenizas en el carbón es de alrededor del 30% en peso, y el balance es carbono fijo, alrededor del 67-70%. Un ulterior calentamiento aumenta el contenido de carbono fijo, eliminando y descomponiendo aún más los alquitranes. Una temperatura de 500°C da un contenido típico de carbono fijo de alrededor del 85% y un contenido de materia volátil de cerca del 10%. A esta temperatura, el rendimiento del carbón es de aproximadamente el 33% del peso de la madera secada al horno carbonizada, sin contar la madera que ha sido quemada para carbonizar el remanente. Por lo tanto, el rendimiento teórico del carbón vegetal varía con la temperatura de carbonización, debido al cambio de contenido de material volátil alquitranado. En el Cuadro 1 se muestra el efecto de la temperatura final de carbonización sobre el rendimiento y composición del carbón vegetal. (Arias, 2007)

Cuadro 3. Efecto de la temperatura de carbonización sobre rendimientos y composición del carbón vegetal

Temperatura de carbonización °C	Análisis químico del carbón		Rendimiento de carbón sobre masa seca al horno (0% de humedad)
	% carbono fijo	% material volátil	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

Fuente:Propia.

Bajas temperaturas de carbonización dan un mayor rendimiento en carbón vegetal, pero que es de baja calidad, que es corrosivo, por contener alquitranes ácidos, y que no quema con una llama limpia sin humo. Un buen carbón vegetal comercial debería contener carbono fijo en alrededor del 75% para lo cual se requiere una temperatura final de carbonización de alrededor de 500°C.

El rendimiento del carbón muestra también cierta variación con respecto al tipo de madera. Hay cierta evidencia de que el contenido de lignina en la madera tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del carbón; un alto contenido de lignina da un elevado rendimiento de carbón vegetal. Una madera densa tiende también a dar un carbón denso y fuerte, la que es también deseable. Sin embargo, madera muy densa produce a veces carbón friable puesto que la madera tiende a desmenuzarse durante la carbonización. La friabilidad del carbón aumenta con el aumento de la temperatura de carbonización y el contenido de carbono fijo aumenta mientras que el contenido de sustancias volátiles decrece. Una temperatura de 450 - 500°C ofrece un equilibrio óptimo entre friabilidad y el deseo de un elevado contenido de carbono fijo.

Debido a las numerosas variables posibles en la carbonización es difícil especificar un procedimiento óptimo general el cual pueda obtener los mejores resultados, usando latifoliadas sanas, de densidad media a elevada. La madera deberá ser lo más seca posible y por lo general bien hendida, para eliminar piezas mayores de 20 cm de grueso. La leña que debe ser quemada en los hornos o fosas, para secar e iniciar la carbonización del remanente, puede ser de inferior calidad y de sección menor. Su única función es la de producir calor para secar y calentar la remanente a la temperatura de carbonización. Debería tratarse de alcanzar una temperatura final de alrededor de 500°C en el interior de toda la carga, lo que con las fosas se hace difícil, puesto que la circulación del aire y los efectos de enfriamiento son irregulares y se producen puntos fríos, obteniéndose tizones o madera no carbonizada. Por tratar de alcanzar una temperatura final general de 500°C en una fosa u horno, donde la circulación del aire es pobre o irregular, puede resultar que parte del carbón se quema en cenizas, dejando otras partes de la carga carbonizadas sólo parcialmente. De allí la importancia de usar hornos bien diseñados, hechos funcionar correctamente para una producción eficiente de carbón vegetal. (FAO, 2003)

2.3.5. Formas de Fabricar Carbón

2.3.5.1. Fosas de tierra para la fabricación de carbón vegetal

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. Merece por lo tanto un estudio atento, para descubrir sus ventajas e inconvenientes. Retiene obviamente su lugar por su bajo costo. Donde sea que los árboles crecen hay tierra, y es natural que el ser humano se haya orientado a este material barato e incombustible, como material aislante para encerrar la madera mientras se carboniza.

Hay dos modos diversos de usar la barrera de tierra en la fabricación de carbón vegetal: una es la de escavar una fosa, rellenarla de madera y taparla con tierra escavada para aislar la cámara. La otra es de tapar un montículo o pila (parva) de madera sobre el suelo, con tierra. La tierra viene a formar la barrera aislante impermeable a los gases necesarios, detrás de la cual puede tener lugar la carbonización sin infiltraciones de aire, que haría quemar el carbón hasta reducirlo en cenizas. Ambos métodos, cuando llevados a cabo con habilidad, pueden producir buen carbón vegetal dentro de sus limitaciones tecnológicas. (FAO, 2003)

2.3.5.1.1. El método de la fosa

Para este método se necesita una capa de suelo profundo. Depósitos adecuados de suelo liviano pueden normalmente encontrarse a lo largo de los bancos de un arroyo. Pueden hacerse fosas muy grandes y un ciclo puede abarcar hasta tres meses para completarse. Como se muestra en la Figura 2, la inversión de capital es mínima; no se necesita nada más que una pala, un hacha y una caja de fósforos, pero es un método que desperdicia mucho los recursos. Es muy difícil controlar la circulación de los gases en la fosa. Mucha madera se quema quedando en cenizas, porque le llega demasiado aire. Otra parte queda sólo parcialmente carbonizada, ya que no llega suficiente oxígeno durante el quemado, se calienta y seca correctamente. A parte de las grandes variaciones en calidad, varían las sustancias volátiles, o sea el grado de carbonización para un carbón vegetal aceptable, porque la carbonización en una fosa comienza en una extremidad y progresa hacia la otra. De allí que el carbón del comienzo de la quema, habiendo sido calentado por más tiempo, tiene mucho menos sustancias volátiles que el carbón del otro extremo. Para fines domésticos, no resulta ser un problema serio, si bien reduce el rendimiento global, puesto que el carbón vegetal "duro", o sobre quemado en la punta de la ignición, con menos volátiles, elevado contenido final de carbono, implica un rendimiento bajo (teóricamente alrededor del 30%). La quema excesiva en un extremo es inevitable para poder quemar la carga completa.

Un problema adicional con las fosas es la reabsorción del ácido piroleñoso tiende a condensarse en el follaje y en la tierra usados para tapar la fosa. Cuando caen fuertes lluvias viene lavado hacia abajo y absorbido por el carbón vegetal. Son la causa de la podredumbre de las bolsas de yute y el carbón cuando viene quemado, produce humo desagradable. Sin embargo, obreros hábiles, usando fosas no muy grandes, pueden hacer carbón vegetal de excelente calidad. El bajo costo de Capital de este método hace que sea recomendable donde abunda la madera y los jornales son bajos.



*Figura 2. Carbonera en fosa de tierra durante la etapa de carga. Observar el gran diámetro en rollo usado Ghana.
Fuente: Lejeune.*

2.3.5.1.2. Fabricación de carbón en fosas miniatura

Fosas pequeñas u hoyos de hasta un metro aproximado, son útiles para fabricar pequeñas cantidades de carbón vegetal con madera chica bastante seca. El método se usa en villas rurales, pero por lo general su productividad es muy baja para dar grandes cantidades comerciales. Para quemar el carbón vegetal en esta forma, se inicia antes un fuego en la fosa y luego se agrega el combustible pequeño y seco para iniciar un buen fuego. Se agrega más madera para llenar la fosa, mientras el fuego continúa a quemar regularmente. Una capa de hojas, de alrededor de 20 cm de espesor, se coloca arriba de la madera combustible y luego una capa de alrededor de 20 cm de tierra con la pala. Se deja la fosa hasta completa carbonización y puede abrirse a los dos días, o menos. Puede ser necesaria el agua para evitar la ignición en el momento de vaciar la fosa. El carbón no es de calidad uniforme y, si se han usado madera chica y corteza, la proporción de partículas finas es excesiva. A veces las fosas se tapan con una hoja de vieja chapa ondulada de techo, cubierta con tierra, dejando algunas aperturas pequeñas para el escape del humo y la entrada de aire.

2.3.5.1.3. Fabricación de carbón vegetal en grandes fosas

Las fosas típicas para carbón vegetal son grandes y la quema avanza progresivamente desde una extremidad a la otra. Las fosas mayores, que producen 6 ton o más de carbón por quema, son difíciles de controlar, pero son más eficientes en el empleo de mano de obra. Las que son algo más pequeñas tienen un mejor flujo de aire y producen carbón más uniforme, pero el rendimiento es bajo y el empleo de la mano de obra es menos eficiente.

La Figura 2 muestra una fosa grande de un volumen bruto de alrededor de 30 m³, con una capacidad neta de carga de alrededor de 26 m³. Se prefiere un suelo franco arenoso de adecuada profundidad. Se necesitan casi 3 jornales para escavar la fosa y uno para agregar los canales para el encendido y para la salida de humo.

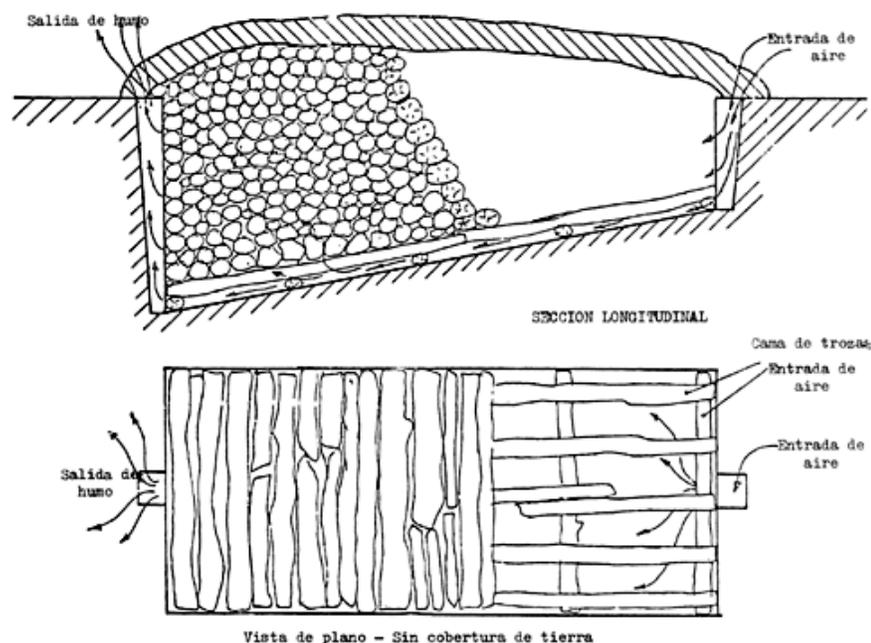


Figura 3. Funcionamiento de un horno grande de fosas.
 Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

Como se observa en la Figura 3, la fosa se carga con trozas que miden 2,4 m, o menos, que se acomodan fácilmente y transversales en la fosa. Se cuidará, durante la carga, de rellenar la mayor cantidad posible de vacíos entre las trozas, con ramas y pequeñas maderas, para mejorar la eficiencia volumétrica. Los grandes largos de la madera, que pueden cargarse en las fosas, significa que el troceo con hacha es aún un método práctico para el pequeño operador sin capital. Se usan mucho, sin embargo, las sierras mecánicas. Para asegurar que la madera se caliente correctamente para su carbonización, se permite que el gas caliente pase a lo largo del piso de la fosa, colocando la carga sobre una cama de trozas.



Figura 4. Fosa de tierra durante la quema. Obsérvense las chimeneas de acero y la cubierta hecha con láminas, selladas con tierra. Ghana. Foto Lejeune (5) FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en grandes Fosas

Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

Primero, alrededor de 5 trozas, cortadas de acuerdo el ancho de la fosa, se disponen a distancias regulares a lo largo de su longitud; luego 4 trozas, cada una larga como la longitud de la fosa, se colocan sobre la primera capa a distancias regulares. Esta tejedura estructural sostiene la carga, y permite también que, una vez que la fosa ha sido encendida en una extremidad, los gases calientes pasen debajo de la carga, calentándola a medida que el flujo se desplaza hacia la extremidad opuesta. Como se muestra en la Figura 4, estos gases calientes, producidos por la quema parcial de la carga de madera, secan lentamente la tierra y calientan el resto de la madera al punto de carbonización, de alrededor de 280°C. La descomposición espontánea de la madera, con liberación de calor viene después, formándose el carbón vegetal. Al mismo tiempo, se producen copiosos volúmenes de vapor de agua, ácidos acéticos y otros, metanol y alquitranes, que a su vez en el recorrido de descarga, transfieren a la carga de madera que se está secando, su calor. Al final, toda la madera se ha secado, se ha calentado al punto de carbonización y se transforma en carbón vegetal. La etapa de la carbonización

puede emplear 20 a 30 días para completarse, acompañada por una notable reducción del volumen de la carga de madera, hasta el 50-70% del volumen inicial. La tierra que recubre la fosa se encoge lentamente durante la carbonización, y debe taparse toda grieta u hoyo que se forma, para evitar la infiltración de aire. Existe el peligro de las quemaduras fatales para hombres o animales que caen o caminan sobre la fosa, por lo que deben tomarse cuidados para evitarlo.



Figura 5. Los respiradores de los hornos de fosa pueden ser forrados con madera cuando el suelo es suelto, evitando la necesidad del acero. Ghana.

Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

Una vez que la cobertura de la fosa se ha hundido de un extremo al otro, se considera que la quema se ha completado y se sellan las aberturas dejando que la fosa se enfríe, lo que puede requerir aproximadamente 40 días según las condiciones de tiempo. Después del enfriamiento, se abre la fosa y se descarga el carbón vegetal, separándolo cuidadosamente de la tierra y de la arena y de la madera parcialmente carbonizada. Para esta operación son útiles las horquillas y los rastrillos.

El tipo de la carbonización de fosa hace que sea difícil obtener una carga de carbonización uniforme. El carbón en la extremidad del encendido tiene normalmente pocas materias volátiles, mientras que su presencia es elevada en el carbón que se ha formado por último, cerca de la descarga del humo, puesto que ha sido sometido a temperaturas de carbonización sólo durante un tiempo breve. Además, puesto que la corriente de aire puede no ser uniforme, la carga puede contener un considerable volumen de tizones. Si bien los tizones pueden ser recuperados y reciclados, representan una ineficiencia de producción.

Se usan fosas más chicas de la que se muestra en la figura 3. Una fosa pequeña típica puede medir 3 m de largo, por 1,2 m de ancho y 1,2 m de profundidad. El largo de la madera cargada es de alrededor de un metro, y como en los grandes hornos, los espacios entre las trozas grandes deben ser bloqueados con cuidado con pequeños pedazos de madera, para aumentar la eficiencia de la carga, y evitar encauzamientos irregulares del gas, de un extremo al otro, lo que lleva a la producción de "tizones".

Existen métodos de carbonización mucho más eficientes pero que demandan una alta inversión en comparación con los métodos de fosa como se muestra en la Figura 6.



*.Figura 6. Carbonera de acero y fosa de tierra. Observar las chimeneas para el humo que están enterradas en el suelo y el tipo de leña empleado. Ghana.
Fuente: Foto Lejeune*

2.3.5.1.4. Datos técnicos y costos para producir carbón vegetal en fosas

Los siguientes datos técnicos y de costos vienen de la producción de carbón vegetal de la gran red de fosas de Guyana, donde el proceso ha funcionado a nivel comercial durante muchos años. La producción anual ha tenido grandes variaciones las máximas han sido de alrededor de 6.000 toneladas anuales en los años 50.

De los datos recogidos en el campo y discusiones con gente que ha trabajado con este método por muchos años, se derivan los siguientes valores por hombre o por cuadrilla de 5 hombres que trabajan en una fosa. Los valores son en jornales por fosa, o carbonera subterránea.

2.3.5.1.5. Fabricación de Carbón vegetal mediante Parvas

La alternativa a excavar una fosa es la de apilar la madera sobre el suelo y cubrir la parva con tierra. Este también es un método muy antiguo y se usa ampliamente en muchos países, encontrándose con muchas variaciones al método fundamental. En algunos países se han realizado estudios para mejorar su diseño al máximo. Es notable el trabajo que hace algunos años realizaron los suecos en esta materia. Esencialmente, el proceso es el mismo del de la fosa: la madera que debe ser carbonizada se encierra dentro de un involucro, cámara, impermeable al aire, hecho con tierra, que es un material accesible en cualquier parte donde crece la madera. Se prefiere la parva de tierra a la fosa donde el suelo es rocoso, duro o delgado, o donde la capa freática está cerca de la superficie. En contraposición, la fosa es ideal donde el suelo es bien drenado, profundo y franco. La parva es también más práctica en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los pueblos u otros emplazamientos permanentes, El sitio de una parva puede ser usado repetidamente, mientras que la tendencia con las fosas es de usarlas pocas veces, para luego abrir otras nuevas para estar detrás del recurso maderero. Así también cuando la capa freática está cerca de la superficie o el drenaje es pobre, las fosas no son prácticas. La continua excavación de fosas interrumpe también los cultivos o los pastoreas. La leña que será carbonizada en una parva puede también ser juntada sin apuro durante un lapso de meses, apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar. Ello va de acuerdo con la manera de vivir de un pequeño agricultor, quien puede juntar pedazos de madera, ramas y trazas y apilarlos con cuidado para formar el montón. Al cabo de algunos meses, según la estación, según los precios del carbón vegetal etc., recubre el montón con tierra y quema el carbón. Genera de esta manera un pequeño ingreso en efectivo, sin tener necesidad de un gasto inicial en moneda.

2.3.5.1.6. Tipos de parvas

El sistema de parvas o de hornos de tierra es versátil. Se adaptan a la producción esporádica en pequeña escala de carbón vegetal y sin embargo también se adaptan para la producción en gran escala. La hoy difunta industria siderúrgica sueca a base de carbón vegetal, produjo en 1940, en esta manera, más del 80%. De su carbón vegetal. El sistema de la parva fue mejorado en Suecia con la investigación, y sus principales mejoras fueron, la optimización del sistema de las corrientes o flujos y el empleo de una chimenea externa para mejorar la circulación del gas.

En algunas partes de África se usan sistemas híbridos que contienen elementos de las parvas de tierra y de las fosas. Un montón rectangular de rollizos uniformemente troceados se apila sobre. Una tejedura de trazas cruzadas, que permite la circulación del gas. El volumen del apilado es generalmente de 5-8 metros cúbicos. El montón acabado viene luego sellado detrás de paredes de tierra hechas comprimiendo la tierra entre la madera apilada cubierta con hojas y una pared de sostén de varas o de tablas, retenidas con estacas. Se cubre la cabecera de la pila con hojas y con tierra, como en los sistemas de carboneras de fosa. Se deja una apertura en la pared lateral para iniciar la quema, y cuando este fuego ha prendido bien, se cierra la pared en la misma manera con tierra y con tablas. Se abren entradas de aire en la base de la parva y se usan para controlar el ritmo de combustión.

Se ha probado de hacer funcionar formas modificadas de este sistema en una mayor escala, usando equipos de remoción de tierra. Usando un buldócer se hacen rodar troncos grandes en una excavación no profunda y otras trazas se hacen rodar y amontonar. Se desparrama follaje sobre la pila y se empuja la tierra con el buldócer sobre el cúmulo para tapar la leña. Como se muestra en la Figura 6, el fuego se enciende en uno o más puntos, y cuando está quemando bien, se sellan con tierra estos puntos de encendido. El método da buenos resultados cuando no se producen infiltraciones de aire en la envoltura. En la práctica, son frecuentes los

bajos rendimientos de carbón de leña puesto que es difícil obtener una parva con un buen empaque, con grandes trazas rociadas sobre el lugar; la circulación del gas es errática y, como resultado, se tienen grandes cantidades de madera no carbonizada. Es difícil el sellado de las parvas y, en ciertos momentos resulta peligroso para el operador hacer reparaciones, La consecuencia es que las filtraciones de aire no son controladas y el carbón se reduce a cenizas en algunas partes del montón antes que el resto haya sido carbonizado en forma correcta. Un ulterior problema es que, a menos que se manejen bien las operaciones de los equipos pesados de movimiento de tierra con adecuado mantenimiento y repuestos, los costos de operación -tienden a escaparse de mano y toda la operación se vuelve antieconómica. Por regla general, es difícil combinar equipos de elevado costo de inversión con un sistema tecnológicamente primitivo de quema de carbón vegetal, y esperar que la operación resulte beneficiosa en su conjunto, a menos que la calidad de la gestión sea de primera clase.

El problema de obtener y mantener, durante todo el período de quema, un sellado efectivo contra el aire, y una buena circulación, son los principales factores que limitan las dimensiones de los sistemas de fosa y parvas. Es difícil ubicar las infiltraciones sobre la cobertura y es difícil de repararlas en las fosas con parvas muy grandes.



*Figura 7. Carbonera de parva de tierra en construcción indicando el punto de encendido. Ghana.
Fuente: Foto Lejeune.*

2.3.5.1.7. Construcción de una parva o carbonera típica de tierra

Como se muestra en la Figura 7, la típica parva para la quema de carbón vegetal del tipo para pueblo o villa, es de alrededor de 4 metros de diámetro en la base y de alrededor de 1 a 1,5 m de altura, aproximadamente un hemisferio aplastado. En la base, se hacen alrededor de seis a diez tomas de aire, y una apertura arriba, de alrededor de 20 cm de diámetro, permite la salida del humo durante la combustión. Todas las aperturas deben ser selladas con tierra cuando se ha concluido la quema, permitiendo el enfriamiento del cúmulo.

Se limpia un espacio de alrededor de 6 metros, se lo nivela y compacta, debiendo ser bien drenado. A veces se planta un poste de alrededor de 2 m de alto, en lo que será el centro de la pila de leña, para facilitar la acumulación de la madera, para dar estabilidad a la pila y para dar un soporte al operador cuando se tapa el apilado con tierra y se hace el agujero superior para el humo, y luego cuando se enciende la

parva. Normalmente se saca el poste antes del encendido para dejar una apertura central a través de todo el montículo.

Se coloca antes, sobre el suelo y radialmente, una tejedura de pequeñas trozas cruzadas, para formar un círculo de alrededor de 4 metros de diámetro. Luego se empaca densamente la madera, que debe ser carbonizada sobre esta plataforma, cuya finalidad es que el fuego y los gases calientes circulen correctamente. Las piezas más largas de leña (de hasta 2 metros de largo) se colocan verticalmente hacia la periferia, con el fin de desarrollar un perfil más o menos regular. Los espacios entre las trozas se rellenan con madera chica, para que la parva resulte lo más densa posible. La superficie de la pila se empaca con leña pequeña en lo necesario, para lograr un perfil lo más uniforme posible, y crear un buen soporte para su recubrimiento con -tierra. Una buena norma es la de dejar que la madera apilada se seque por un período más largo posible sobre la pila, primero paja, hojas, pasto grosero etc., y luego se recubre esta capa con tierra o arena. Es preferible un suelo arenoso o franco que encoja poco por el secado, debiéndose evitar las arcillas muy plásticas, con una definida tendencia a rajarse y encogerse cuando se secan y calientan. Carbón fino puede mezclarse con la -tierra. El espesor de la cobertura variará según la lisura de la pila de madera, pero es típicamente de 10 - 20 cm, El revestimiento deberá ser revisado para sellar todas las rajaduras y controlar que queden abiertas las bocas de aire en la base del cúmulo.



*Figura 8. Parva de tierra durante su construcción. Observar las trozas de gran diámetro colocadas en la base de las pilas. Ghana.
Fuente: Foto Lejeune.*

Si es necesario, se deja que la capa de tierra se seque durante alrededor de un día, pudiéndose luego comenzar el encendido. Se introduce en el agujero superior de la parva una palada de madera y carbón encendidos, que encienden la madera inflamable colocada en la parte superior de la parva, y cuando un humo denso y blanco sale de arriba, significa que el fuego ha tomado. En el curso de días, el humo se vuelve azulado y finalmente se vuelve prácticamente transparente. El tiempo requerido para completar la combustión depende del contenido de humedad de la leña y de la regularidad de la circulación del gas dentro de la parva. El operador debe darse cuenta de la presencia de puntos fríos o calientes sobre las paredes para abrir o cerrar las bocas de aire al pie. En ningún momento debe llegarse a ver calor rojo a través de ellas, y si apareciera, la boca debe ser cerrada. Las rajaduras que pueden formarse sobre el manto, deben ser rellenadas con tierra arenosa suave. Cuando se cree que la quema ha finalizado, deben cerrarse con cuidado la apertura de arriba y todas las entradas de aire en la base, con ladrillos o piedras con arcilla. Si la parva es pequeña, se enfriarán en alrededor de dos a tres días.

Una carbonera de tierra puede abrirse una vez que se ha enfriado. Deberán tenerse al alcance alrededor de 100 litros de agua para apagar fuegos eventuales. Ya que no espera, normalmente, una gran productividad de las carboneras de tierra, pueden normalmente dejárselas enfriar todo el tiempo necesario, antes de abrirlas.

Se separan los pedazos de carbón vegetal completamente quemados, de la carbonilla y de los tizones, y se colocan en canastos o bolsas para la venta, La tierra quemada de la parva se pone a un costado y se vuelve a usar, una vez que se ha estacionado, para revestir otras parvas.

Los rendimientos en carbón vegetal varían con la habilidad en el quemado, el grado de sequedad de la leña y la impermeabilización de la parva al aire. Una buena práctica refleja rendimientos de 1 ton de carbón vegetal a partir de 4 -ton de leña seca al aire, pero es más común el rendimiento de 1 ton por 6 de leña.

Este tipo de parvas ha sido modificado, colocando una chimenea central hecha con viejos tambores de petróleo soldados juntos. Las experiencias llevadas a cabo con este sistema modificado, han dado buenos resultados en Senegal. La chimenea mejora la circulación del gas, reduciendo la cantidad de tizones y acelera la carbonización. Menos tizones significan mejores rendimientos de carbón vegetal. En la figura 8 se muestra este tipo de carbonera de tierra modificado, denominado horno Casamance, y se describe en la sección siguiente.

2.3.5.1.8. Horno Casamance

La base se forma con dos estratos de madera de tamaño, pequeño a medio. Para la primera capa, la madera se distribuye regularmente y en forma radial alrededor del punto central de la base y, para el segundo estrato, la madera se ordena tangencialmente, cruzando el primer estrato. La base juega un papel importante, puesto que asegura la corriente de aire dentro de la parva.

Las capas compuestas por trozas grandes (40 cm de diámetro) se distribuyen desde el centro hasta cerca de 50 cm de la extremidad de la base. Los trozos medianos (20 - 40 cm) los circundan y dan resistencia a la parva, recubriendo casi todo el remanente de la base.

El último anillo se compone esencialmente de madera corta (20-40 cm de diámetro) dispuestas sobre la extremidad externa de la base. El diámetro de la base varía con el volumen de la parva. En el Cuadro 2 se puede observar el radio que requiere la base del horno, dependiendo el volumen de leña que se necesita quemar en metros cúbicos.

Cuadro 4. Capacidad del horno Casamance

Volumen de leña para una parva	Radio de la base necesario
30 metros cúbicos	3 metros
90 metros cúbicos	4 metros
100 metros cúbicos	5 metros

Fuente: Propia

El domo se cubre con pastos y arbustos y luego con arena o suelo franco. La chimenea se coloca a un costado de la Del horno, como se ve en la Figura 8, con la apertura en su base conectada con la base de la parva. El sitio para la parva será limpiado con rastrillo, y deberán arrancarse las raíces y las cepas.

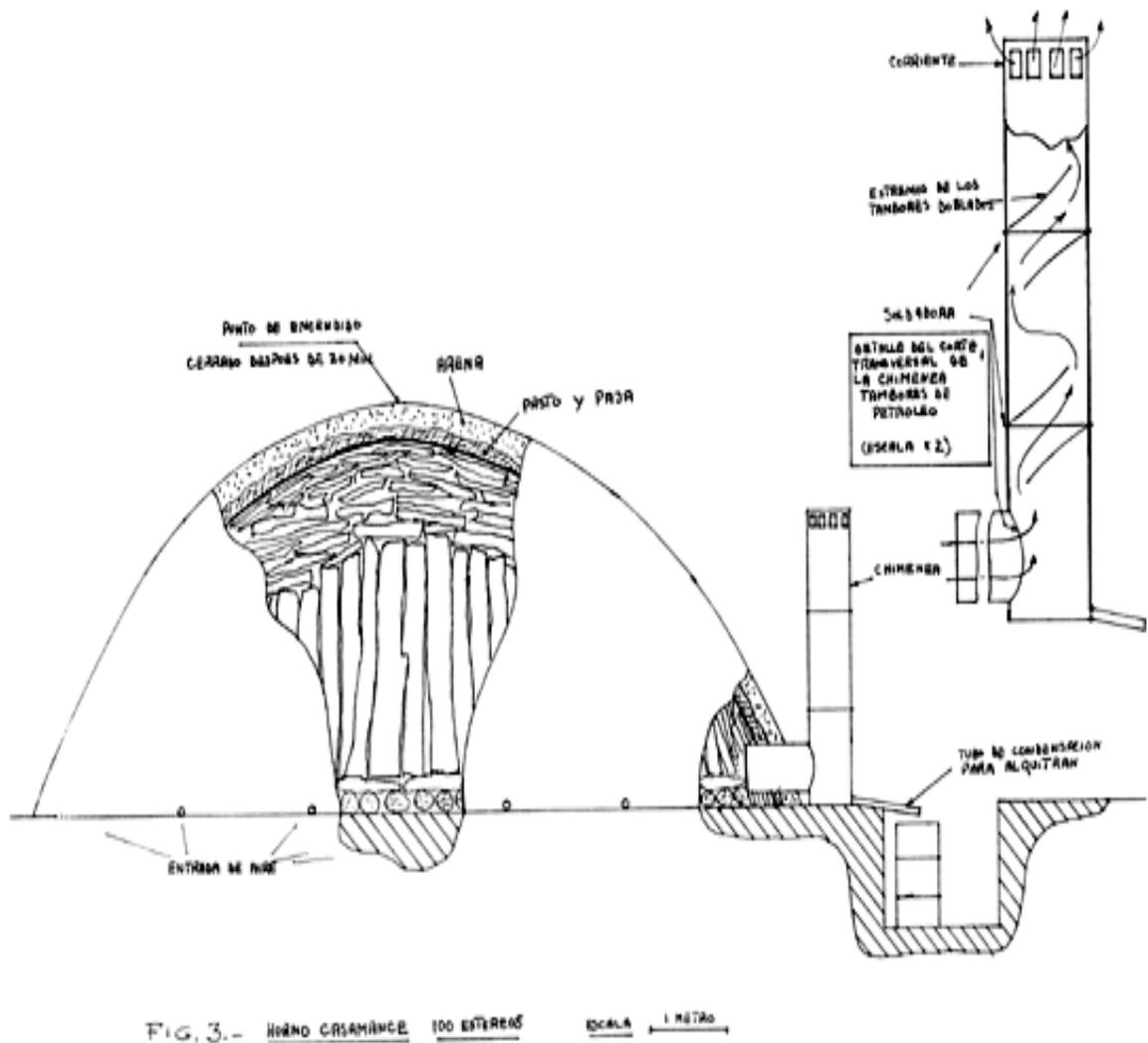


Figura 9. Funcionamiento del horno Casamance y su chimenea
Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

2.3.5.1.8.1. Recolección del alquitrán en el horno Casamance

La recolección del condensado de la base de la chimenea del horno Casamance, enfrenta algunos problemas que no pueden ser pasados por alto. El volumen teórico que puede condensarse es considerable y consiste principalmente en agua sin valor. De 100 estéreos de madera (un horno Casamance grande) pueden producirse alrededor de 21 ton métricas de condensado, que implicaría alrededor de un centenar de tambores de gasóleo para contenerlo. El condensado es en su mayor parte agua sin uso, que es corrosiva y contamina el medio ambiente debido a su contenido de ácido acético y ácidos relacionados. Pueden cosecharse alrededor de dos toneladas métricas de alquitrán, que llenarían alrededor de 10 tambores, suponiendo que nada de él se quema en su camino hacia la chimenea. Es esencial, en la práctica, de permitir que toda el agua y las sustancias ácidas pasen por la chimenea, como vapor, y escapen en el aire en la forma normal. La dilución en la atmósfera reduce sus efectos contaminantes e irritantes, lo que se obtiene manteniendo caliente la chimenea y evitando los vientos fríos. Se pierde parte del alquitrán, pero es inevitable en un método tan sencillo; de otro modo, el hoyo recolector desbordaría de condensado y el área se contaminaría seriamente. En los lugares donde las condiciones de funcionamiento atmosféricas frías dan origen a una excesiva condensación de agua, debe aislarse la parte inferior de la chimenea, o se debe construir una chimenea de ladrillos. Si se mantiene caliente la chimenea, p. ej. A 110 ° C se asegura una succión continua, por lo que los gases circulan correctamente en el horno y la carbonización será buena, y el alquitrán aun así se condensará.



Figura 10. Descarga en bolsas del carbón vegetal de una carbonera de tierra. Observe el rastrillo usado para separar el carbón mezclado en la capa de tierra durante las primeras etapas de la descarga. Ghana.

Fuente: Foto Lejeune.

2.3.5.1.9. Parva sueca tierra con chimenea

La industria del carbón vegetal para siderurgia en Suecia llevó el diseño y el funcionamiento de grandes hornos del tipo de parvas a un gran nivel de perfección. Como podemos observar en la Figura 11, las principales mejoras fueron el uso de una chimenea externa conectada con un conducto construido debajo de la pila y la adopción de una base circular para la parva en el terreno, que redujo la pérdida de calor durante la carbonización y mejoró la circulación del gas.

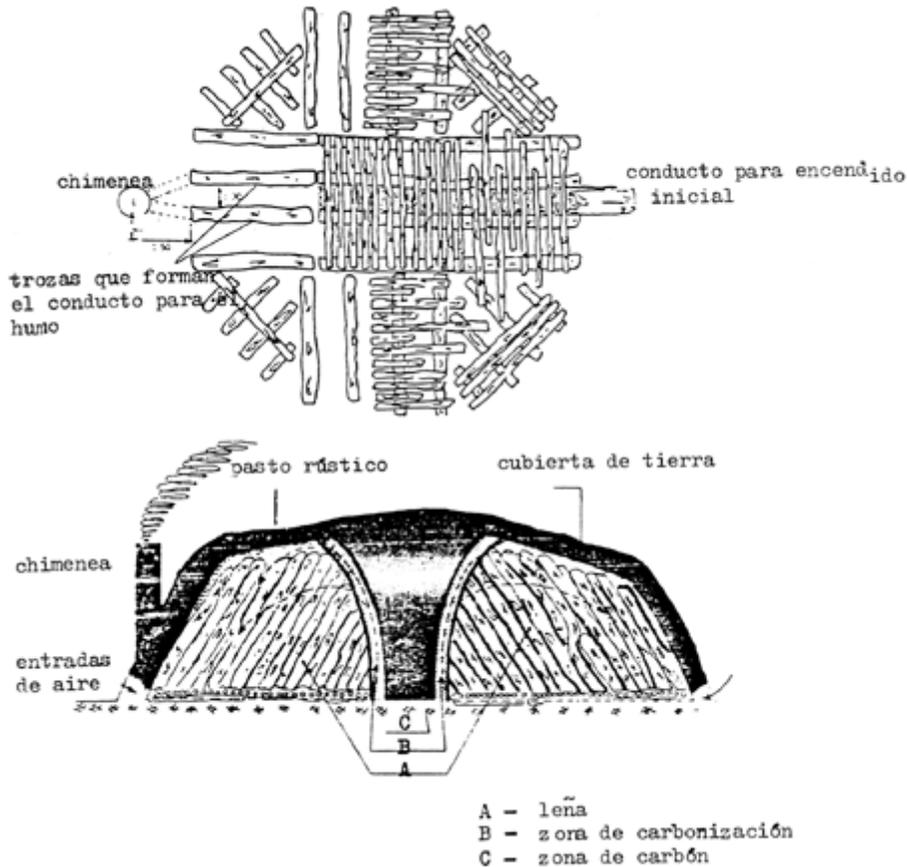


Figura 11. Funcionamiento de la Parva Sueca con Chimenea.

Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

Si bien estos hornos produjeron inicialmente muy grandes cantidades de carbón vegetal para la industria de la fundición del hierro, han sido superados en la elaboración de carbón para la industria siderúrgica, por los sistemas de hornos de ladrillo empleados en Brasil, Argentina y el sudeste asiático.

2.3.6. Construcción del horno:

El fondo de la base se cubre con trozas formando una tejedura o cama sobre la cual se apila verticalmente la madera. El enrejado crea un espacio libre entre la base y la carga de madera a través del cual pasa el aire necesario para la carbonización. La madera amontonada se cubre con hojas y pasto y luego tierra con un espesor de aproximadamente 20 cm.

La parva tiene una chimenea externa hecha con tambores de acero, que se comunica con el montón, por un conducto excavado en la tierra, que corre debajo de la parva y está recubierto con trozas redondas. La parva tiene una cierta cantidad de bocas de aire colocadas alrededor de la base circular.

El proceso de carbonización se inicia introduciendo una torca en el conducto de encendido, opuesto a la chimenea. Se dice que es fácil hacer funcionar este tipo de carbonera y que, produce carbón vegetal de buena calidad, con un rendimiento en volumen del 55% de carbón con respecto a la madera. El volumen de la parva varía de 100 a 250 m³ de madera. El ciclo total toma 24 días; cuatro días para la carga, seis días para la carbonización, diez días para el enfriamiento y cuatro días para la descarga. Debido a la elevada temperatura de carbonización, de alrededor de 550 °C, y la lentitud del proceso, el carbón vegetal producido en los hornos suecos de tierra, tienen una elevada proporción de carbono fijo, poca materia volátil y por consecuencia una baja densidad masal, de 130 a 160 kg/m³, para carbón vegetal hecho con árboles resinosos. Por su bajo contenido volátil tiene una muy baja tendencia a la auto ignición. Sin embargo, el uso de hornos de tierra para operaciones comerciales en gran escala, en la producción de carbón vegetal metalúrgico, ya no se la considera factible por los siguientes motivos: el horno tiene que ser completamente reconstruido al final de cada ciclo; el ciclo de producción de 24 días es demasiado largo; el funcionamiento de la carbonera, si bien fundamentalmente sencillo, requiere considerable capacidad, experiencia y aún un cierto grado de arte. Cuando se desea simplicidad de construcción y funcionamiento, flexibilidad y movilidad los sencillos hornos colmenas alveolares de ladrillo ofrecen buenos rendimientos con simplicidad funcional y rapidez de operación. (FAO, 2003)

2.3.7. Formación de stock

El carbón vegetal, después de haber sido curado durante dos días, puede ser almacenado por tiempo indefinido bajo techo, con lo que se pueden mantener

stocks para suplir la demanda estacional. Será una buena práctica, mantener en el punto de distribución al por mayor, un stock mayorista equivalente a las ventas de dos meses por año. Los stocks deben iniciarse antes que comience la estación de las lluvias y que se vayan consumiendo hacia el final. Pueden estabilizarse de esta manera los precios al por menor siempre que los stocks correspondan a satisfacer la mayor parte del sistema de mercado minorista. A veces, los obreros de la fabricación de carbón, que no tienen trabajo durante la estación de las lluvias, pueden ser empleados durante este período en empaquetar para el por menor. El tipo de empaque depende del tipo de mercado minorista y el número de anillos en la cadena entre el mayorista y el usuario final. Cuantos menos son los anillos, mayor será la economía en la distribución. Actualmente, en la mayoría de los países en desarrollo, la demanda es por lo común fuerte, y pueden por lo tanto simplificarse los pasos en el sistema de distribución, si bien por lo general a costas del usuario final. Sin embargo, en aquellas áreas donde se desea aumentar las ventas de carbón vegetal, debe recordarse que el número de los puntos de venta al detalle es crucial y que debe desarrollarse un sistema de distribución que lo tome en cuenta. La estructura de precios, de las ventas de carbón vegetal al detalle debe reflejar en forma correcta el costo por haber ganado la mayor distribución del producto. No se tendrían de otro modo, resultado valedero.

2.3.7.1. Uso eficiente del carbón vegetal

Se empleará más el carbón vegetal, si su uso es eficiente y si su calidad es óptima para cada determinado empleo final. La calidad del carbón vegetal puede especificarse y medirse en varias formas, derivando generalmente de los requisitos para las diversas aplicaciones finales. Eficiencia en el uso significa normalmente la transferencia de la cantidad máxima del contenido calórico del carbón vegetal al objeto que será adelantado, sea el agua para cocinar, el aire de un cuarto, o la carga de un alto horno. La eficiencia depende del uso de equipos de diseño adecuado para quemar el carbón vegetal.

2.3.7.2. La calidad del carbón vegetal

El mercado para el carbón vegetal, menos exigente del punto de vista de la calidad, es el doméstico. Las razones son que no puede medirse fácilmente su performance, es mínimo el poder del consumidor como individuo, de especificar y de obtener carbón vegetal de buena calidad, y hay una cierta compensación posible entre el precio y la calidad que el consumidor familiar usa para tener resultados satisfactorios. Sin embargo, esto no significa que no hay motivos para el control de calidad. Siempre que no se transforme en un obstáculo o burocráticamente contra productivo, un sistema de normas sobre calidad del carbón vegetal para el uso casero, es una práctica justificada para asegurar el máximo rendimiento del recurso maderero, sin dejar de ofrecer una adecuada performance en el uso familiar. Por otra parte, los grandes usuarios, como es el caso de la industria siderúrgica por su propia experiencia e investigación, las propiedades que buscan en el carbón vegetal, y tienen los medios, con su poder adquisitivo concentrado y el control por lo menos parte, de su propia producción de carbón vegetal, de asegurarse que el carbón por ellos empleado se ajusta a sus especificaciones y produce el hierro fundido con costos globales mínimos.

La mayoría de las especificaciones usadas para controlar la calidad del carbón vegetal se han originado en la industria del acero o química. Cuando el carbón se exporta, los compradores tienden a usar estas mismas especificaciones de calidad industrial aun si el principal destino del carbón vegetal importado pueda más bien ser para la cocina doméstica o asados. Debe tenerse en cuenta esta situación puesto que los requisitos industriales y domésticos no son siempre los mismos y una inteligente evaluación de los reales requisitos de calidad del mercado, pueden permitir surtir carbón vegetal más barato o en mayores cantidades, beneficiando sea al comprador como al vendedor.

La calidad del carbón vegetal se define según algunas de sus propiedades y, si bien todas en cierto modo están interrelacionadas, se miden y se valúan por separado; a continuación se analizan estos diversos factores de calidad.

2.3.8. Propiedades del carbón vegetal

El carbón vegetal 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 y se hace polvo durante el manipuleo y el transporte. Hay variaciones de calidad en relación con su contenido de carbono fijo.

Un carbón vegetal que ha carbonizado a baja temperatura tiene un alto contenido de volátiles y un bajo contenido de carbono fijo; corroe los metales, el papel, las fibras y el material de empaque (pero no a las bolsas de hojas o tejido plástico), y tiende también a dar humo cuando se le quema. No se desintegra tan fácilmente, y por ello se puede transportar y manosear sin producir una excesiva cantidad de carbonilla. Por otro lado, el carbón vegetal carbonizado hasta altas temperaturas tiene un elevado contenido de carbono fijo, bajo en volátiles y es mucho más friable (una excepción es el carbón vegetal carbonizado a muy altas temperaturas, de alrededor de 1.000 °C que se trata casi de carbono puro y puede ser bastante sólido. Este tipo de carbón vegetal raramente se encuentra en el mercado y por lo común no se fabrica para fines comerciales). Este carbón vegetal arde limpio, pero puede resultar difícil encenderlo. El producto intermedio ideal, cuando seco, tiene un contenido de carbono fijo de alrededor del 75%; un contenido de volátiles de alrededor del 20%; de cenizas cerca del 5% y una densidad aparente de alrededor de 250-300 kg/m³.

El agua es el principal adulterante que se encuentra en el carbón vegetal. Es normal que un carbón vegetal de buena calidad tenga un contenido de humedad del 5-10%. Más del 10% resulta excesivo e indica que se ha mojado por la lluvia o adulterado para aumentar su peso.

Es muy recomendable comprar el carbón vegetal por volumen, con lo que se invalida el agregado de agua o de otros materiales adulterantes y desanima la mezcla con carbonilla, puesto que esto reduciría al mismo tiempo el volumen global. Por ello, un acuerdo en el momento de la compra del carbón vegetal sobre una base

volumétrica, conviene tanto al vendedor como al comprador, siempre que haya un método de medición previamente convenido.

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.

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).

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.

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/m³.

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.

Otra de las propiedades tal vez 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.

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.

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/m³, unidos a un alto poder calorífico si se quiere para combustible.

2.3.8.1. Contenido de humedad

El carbón fresco, apenas abierto el horno, contiene muy poca humedad, generalmente menos del 1%. La absorción de humedad del aire mismo es rápida, y gana con el tiempo humedad que, aun sin mojarse con la lluvia, puede llegar a un contenido del 5 al 10%, aun para el carbón vegetal bien quemado. Cuando no se ha quemado correctamente el carbón o cuando los ácidos piroleñosos y alquitranes solubles han sido retomados por el carbón vegetal a causa de la lluvia, como puede suceder en la quema en fosas o parvas aumenta la higroscopicidad del carbón y su contenido de humedad natural o en equilibrio puede subir al 15% o más.

La humedad es un adulterante que baja el valor calorífico o de calefacción del carbón vegetal. Cuando el carbón se vende por peso, comerciantes deshonestos mantienen a menudo un elevado contenido de humedad, mojándolo con agua. El agregado de agua no cambia el volumen ni la apariencia del carbón vegetal. Por esta razón, los que compran el carbón al granel prefieren comprar o por el volumen en bruto, p.ej. en metros cúbicos, o por peso, pero determinando su contenido de humedad por medio de ensayos de laboratorios y, ajustar en proporción el precio. En los pequeños mercados se vende a menudo por pieza.

Es virtualmente imposible evitar que el carbón vegetal se moje algo, con la lluvia, durante el transporte al mercado, pero el almacenamiento del carbón bajo techo es una buena práctica, aún si se ha adquirido por volumen, puesto que el agua contenida tiene que evaporar en la combustión y representa una pérdida directa de poder calorífico. Esto sucede porque el agua en forma de vapor pasa en el flujo y

raramente se condensa liberando su calor contenido, sobre el objeto que se está calentando en el horno.

Las especificaciones de calidad limitan generalmente el contenido de humedad a alrededor del 5-15%. Del peso bruto del carbón vegetal. El contenido de humedad se determina secando al horno una muestra de carbón, y se expresa en por ciento del peso inicial húmedo.

Es evidente que el carbón vegetal con un elevado contenido de humedad (10% o más) tiende a desmenuzarse y produce carbonilla fina cuando se calienta en las fundiciones, lo que no es deseable en la producción de hierro.

2.3.8.2. Materia volátil diversa del agua

La materia volátil diversa del agua en el carbón vegetal comprende todos esos residuos líquidos y alquitranosos que no fueron eliminados completamente durante el proceso de carbonización. Cuando la carbonización es prolongada y a alta temperatura, el contenido de volátiles es entonces bajo. Cuando la temperatura de carbonización es baja y el período en el horno es breve, entonces el contenido de sustancia volátil aumenta.

Estos efectos se reflejan sobre el rendimiento en carbón vegetal obtenido a partir de un determinado peso de madera. A bajas temperaturas (300°C) es posible un rendimiento en carbón de casi el 50%, Con temperaturas de carbonización de 500-600°C los volátiles son escasos y son típicos los rendimientos del 30% en la carbonera. Con temperaturas muy altas (alrededor de 1.000°C) el contenido volátil es casi cero y el rendimiento cae a alrededor del 2%. Como se ha dicho anteriormente, el carbón vegetal puede reabsorber los alquitranes y los ácidos piroleñosos con el lavado de la lluvia en los métodos de quema en fosa o similares. Por ello, el carbón vegetal puede ser bien quemado pero, por este motivo, tener un elevado contenido de sustancia volátil. Se produce así una variación adicional en el carbón quemado en fosas, en climas húmedos. Los ácidos reabsorbidos hacen

que el carbón se vuelva corrosivo, provocando la podredumbre de las bolsas de yute, lo que es un problema durante el transporte; y además, no tiene una combustión limpia.

La sustancia volátil en el carbón vegetal puede variar desde un tope del 40%, o más, hasta un 5%, o menos. Su medición se hace calentando una muestra, por peso de carbón seco y lejos del aire, a 900° o hasta un peso constante. La pérdida de peso es la sustancia volátil, que se especifica, por lo general, como libre de contenido de humedad, o sea, sustancia volátil - humedad (SV - humedad).

El carbón vegetal con mucha materia volátil se enciende fácilmente pero al quemar produce humo. El carbón de pocos volátiles tiene dificultades al encenderse y su combustión es muy limpia. Un buen carbón vegetal comercial puede tener un contenido de sustancia volátil neta (libre de humedad) del 30% aproximadamente. El carbón con mucha sustancia volátil es menos quebradizo que el carbón común de fuerte combustión con poco volátil, por lo que produce menos carbonilla fina durante el transporte y los manipuleos. Es también más higroscópico y tiene por lo tanto un mayor contenido de humedad natural.

2.3.8.3. Contenido de carbono fijo

El contenido de carbono fijo en el carbón vegetal varía desde un mínimo del 50% hasta un elevado del 95%, en cuyo contenido de carbón vegetal consiste principalmente en carbono. El contenido de carbono se estima normalmente como una "diferencia", o sea, todos los otros componentes se deducen de cien como porcentajes y se supone que lo que queda es el % de carbono "puro" o "fijo", El contenido de carbono fijo es el componente más importante en metalurgia, puesto que el carbono fijo es el responsable de la reducción de los óxidos de hierro en el hierro fundido durante su producción. Pero el usuario industrial, para obtener una operación óptima de fundición, debe encontrar un balance entre el carácter quebradizo de un carbón vegetal con elevado contenido de carbono fijo y la mayor

fuerza de un carbón vegetal con un contenido inferior en carbono fijo, y superior en materia volátil.

2.3.8.4. Contenido de cenizas

Las cenizas se determinan calentando una muestra, por peso, hasta el color rojo con acceso de aire para quemar completamente toda la substancia combustible, quedando un residuo denominado ceniza. Se trata de substancias minerales, como la arcilla, sílice y óxidos de calcio y magnesio, etc., presentes en la madera original y absorbidos del suelo durante su crecimiento.

El contenido de cenizas en el carbón vegetal varía desde alrededor del 0,5% a más del 5%, dependiendo de la especie de madera, la cantidad de corteza incluida con la madera en el horno y la cantidad de contaminación con tierra y arena. Típicamente, un pedazo de buen carbón vegetal tiene un contenido de cenizas de alrededor del 3%. La carbonilla fina puede tener un elevado contenido de cenizas, pero si se elimina por tamizado el material menor de 4 mm, el remanente superior a 4 mm puede tener un contenido de cenizas de alrededor del 5-10%. Los compradores sospechan naturalmente de la carbonilla, que resulta difícil de vender y, desgraciadamente de usar.

2.3.8.5. Análisis típico del carbón vegetal

Para ilustrar la amplitud de composiciones que se encuentran en carbones vegetales comerciales, el Cuadro 3 da un elenco de composiciones para muestras al azar de varias clases de madera y varias clases de métodos de carbonización. Por lo general, todas las maderas y todos los métodos de carbonización pueden producir carbones vegetales que entran dentro de los límites comerciales.

El Cuadro 5 registra las variaciones en la composición del carbón vegetal, halladas en el horno de fundación de una gran planta siderúrgica con carbón vegetal de Minas Gerais, Brasil. Todo este carbón había sido fabricado empleando hornos de ladrillo del tipo colmena. La madera empleada era, o de especies mixtas del bosque natural o de eucalipto plantado.

Cuadro 5. Algunos análisis típicos de carbón vegetal

Especies leñosas	Método de producción	Contenido de humedad %	Ceniza %	Materia volátil	Carbono fijo	Densidad Kg/m ³ aparente		Valor calórico bruto.Kj/Kg en base horno seco	Observaciones
						en bruto	Pulverizado		
Dakama	fosa de tierra	7,5	1,4	16,9	74,2	314	708	32.410	Combustible pulverizado para hornos rotatorios 1/
Wallaba	"	6,9	1,3	14,7	77,1	261	563	35.580	" 1/
Kautaballi	"	6,6	3,0	24,8	65,6	290	596	29.990	" 1/
Mezcla de latifoliadas tropicales	"	5,4	8,9	17,1	68,6				Carbonilla fina de baja calidad 1/
"	"	5,4	1,2	23,6	69,8				Carbón vegetal doméstico 1/
Wallaba	Parva de tierra	5,9	1,3	8,5	84,2				Muestra bien quemada 1/
"	"	5,8	0,7	46,0	47,6				Muestra medianamente quemada 1/
Roble	Horno metálico transportable	3,5	2,1	13,3	81,1			32.500	2/
Cáscaras de coco	"	4,0	1,5	13,5	83,0			30.140	4/
Eucalyptus saligna	Retorta	5,1	2,6	25,8	66,8				3/

1/ = Guyana; 2/ = U.K.; 3/ = Brasil; 4/ = Fiji

Composición química y física del carbón vegetal por peso-base seca.	Variaciones		Promedio anual	Carbón vegetal considerado bueno a excelente
	Max	Min		
Carbono fijo	80%	60%	70%	75 - 80%
Cenizas	10%	3%	5%	3 - 4%
Substancia volátil	26%	15%	25%	20 - 25%
Densidad aparente- como se recibe (Kg/m3)	330	200	260	250 – 300
Densidad Parente-seco	270	180	235	230 – 270
Tamaño medio (mm) como se recibe	60	10	35	20 – 50
Contenido carbonilla como se recibe (-6,35mm)	22%	10%	15%	10% Max
Contenido de humedad - como se recibe	25%	5%	10%	10% Max

Fuente: Foto Lejeune. (5)FAO, Capítulo 5, Fabricación de Carbón Vegetal en Grandes Fosas

Las variaciones y los promedios anuales se refieren al carbón vegetal usado por la Belgo Míneira. Se trata de una mezcla del 40% de carbón de eucalipto producido en los hornos que la compañía misma maneja y 60% de carbón vegetal de madera natural heterogéneo producido por hornos operados privadamente. El carbón "Bueno a Excelente" se refiere al carbón producido en hornos de la empresa con madera de eucalipto.

2.3.9. Propiedades físicas

Las propiedades descritas hasta ahora son consideradas como propiedades químicas, pero las propiedades físicas, especialmente para el carbón vegetal industrial, no son menos importantes. Y es en la industria del carbón para la fundación del hierro donde las propiedades físicas tienen mucha importancia. En la carga de un horno de fundición el carbón vegetal es la materia prima más cara. Las propiedades físicas del carbón vegetal influyen sobre la producción del alto horno, mientras que las propiedades químicas se relacionan más a la cantidad de carbón necesario por cada tonelada de hierro y a la composición del hierro o del acero final.

El carbón vegetal para el alto horno debe ser fuerte a la compresión, para resistir la fuerza de aplaste de la carga del alto horno, o "peso". Esta fuerza a la compresión, siempre inferior a la del rival del carbón vegetal, óseo del coque metalúrgico hecho con carbón mineral, determina la altura práctica, y por ende la eficiencia y la producción del alto horno. La capacidad de resistir el fraccionamiento, en el manipuleo, es importante para mantener una permeabilidad constante de la carga del horno al impacto del aire, que es vital para conservar la productividad y la uniformidad de las operaciones del horno.

Se han desarrollado varios tipos de ensayos para medir la resistencia a la fractura; es una propiedad bastante difícil de definir en términos objetivos. Estos ensayos se basan sobre la medición de la resistencia del carbón vegetal al fraccionamiento o rotura, haciendo que una muestra caiga desde una cierta altura sobre un piso sólido de acero, o haciendo que una muestra ruede dentro de un tambor, para determinar al cabo de un cierto tiempo, el tamaño de rotura. El resultado se expresa por los porcentajes que pasan y que quedan, a través de varios tamaños de tamices. El carbón vegetal, con poca resistencia a la fractura, producirá un mayor porcentaje de carbonilla fina, sometiendo la muestra al ensayo. En el alto horno no se desea la carbonilla fina, puesto que bloquea la corriente de impacto del aire en el horno. El carbón vegetal frágil puede también ser aplastado por el peso de la carga y producir bloqueos.

2.3.9.1. Capacidad de absorción

El carbón vegetal es una importante materia prima para el carbón activado. Este producto escapa a la finalidad de este manual pero alguna Información puede ser útil en los lugares donde los productores de carbón vegetal lo venden para que sea transformado en carbón activado en fábricas especializadas.

Tal como es producido, el normal carbón vegetal de madera no es un material muy activo para la absorción de los líquidos o de los vapores, puesto que su fina estructura está bloqueada por residuos alquitranados. Para convertir el carbón vegetal en "activado" debe abrirse esta estructura para eliminar los residuos de alquitrán. El método más ampliamente usado en la actualidad es de calentar el carbón vegetal bruto pulverizado, en un horno al calor rojo, bajo en una atmósfera de vapor sobrecalentado. El vapor, al excluir el oxígeno, evita que el carbón vegetal se consuma por quema. Mientras tanto los alquitranes volátiles se eliminan por destilación y se van con el vapor, dejando abierta la estructura porosa. El carbón tratado pasa a envases cerrados y se deja enfriar. Los hornos de activación son generalmente continuos, o sea, el carbón pulverizado pasa en forma de cascada continua por el horno caliente en la atmósfera de vapor.

Después de la activación, se ensayan las especificaciones de calidad del carbón, para determinar su capacidad de decoloración, por la absorción, de soluciones acuosas de melaza en bruto, licor de ron; aceites, tales como aceite vegetal, y la adsorción de solventes como acetato de etilo en aire. La fuerza de adsorción tiende a ser específica. Se establecen graduaciones para soluciones acuosas, otras para aceites y otras para vapores. Los ensayos miden la capacidad de adsorción. Hay pocas diferencias en el producto terminado hecho con carbones vegetales en bruto de diferentes orígenes, pero en general todos pueden ser usados si se queman correctamente. Un buen carbón vegetal básico para fa- carbón activado puede obtenerse de la madera de *Eucalyptus grandis* en hornos de ladrillo.

Un carbón para la adsorción de gases y de vapores se produce generalmente con carbón de cáscaras de coco. Este carbón vegetal tiene gran capacidad de adsorción y resiste la pulverización en los equipos de adsorción, lo que es un factor muy importante.

2.3.9.2. Eficiencia de combustión del carbón vegetal

Aun con un carbón vegetal de buena calidad su quema deberá ser eficiente para obtener sus mejores resultados. Este es especialmente válido en el uso doméstico, donde se quema la mayor cantidad de carbón vegetal. Los hornos industriales para quemar el Carbón vegetal, tales como los altos hornos, cúpulas, hornos de precipitación etc., son por lo general diseñados y hechos funcionar con eficiencia; no serán discutidos aquí. El empleo principal del carbón vegetal, en los hogares del mundo en vía de desarrollo, es para calentar agua, sea para cocinar la comida, sea para tener agua caliente para lavado etc. Algunas comidas se cocinan directamente sobre el fuego sin sumergir en el agua, como para tostar el maíz o asar la carne. Un método de cocido sería 100%. Eficiente si todo el calor, liberado al quemar el combustible, fuese tomado por el alimento que se cocina., lo que está lejos de suceder en la práctica. Un resultado típico, para equipos bien diseñados y hechos funcionar bien, es el de una eficiencia de alrededor del 30%, significando que el 70% del calor se pierde inútilmente. En un clima frío, puede capturarse parte de este calor desperdiciado y usarse para calentar el ambiente del cuarto, cumpliendo por lo tanto una función útil que hace aumentar la eficiencia global.

Teóricamente, es posible aumentar la eficiencia de la transferencia de calor, desde el carbón que arde al alimento, aumentando el costo y las complicaciones de la cocina, pero raramente resulta práctico. Quienes pudieran haberse permitido esta complicación no estarían generalmente quemando carbón vegetal sino algún otro combustible de mayor prestigio social o conveniencia. Es necesario llegar a un compromiso para obtener la mejor eficiencia posible, en concordancia con

instalaciones de cocina sencillas y de bajo costo que puedan ser usadas por la mayor parte de los usuarios de carbón vegetal. El carbón vegetal, contrariamente a la leña, transfiere una buena cantidad de su calor a las vasijas de cocina, por radiación desde la cama combustible ardiente. Con la leña ardiente, donde gases calientes son producidos por altas llamas perezosas, la transferencia de una buena cantidad de calor a las vasijas de cocina deberá ser por convección. Para la transferencia del calor por convección, los gases calientes deben tocar materialmente el recipiente, mientras que el calor radiante se transfiere por radiación infrarroja, emitida directamente por la cama ardiente y absorbida por la superficie de la vasija u otro objeto. Por lo tanto, la vasija debe estar en condiciones de "ver" el lecho ardiente para poder recoger y absorber la energía calorífica radiante. La superficie de la vasija juega un papel muy importante, y debe preferentemente ser negra mate, y la vasija misma debe ser también una buena conductora. El aluminio delgado ennegrecido por el fuego es probablemente ideal. Posiblemente lo peor es la cerámica gruesa de baja densidad. Las ollas ennegrecidas por el fuego no deberían ser limpiadas por afuera, eliminando sin embargo las capas de hollín suelto y de alquitrán blando.

2.3.10. Cómo quema el carbón vegetal

El carbón vegetal reacciona con el oxígeno del aire en un calor rojo esplendente, formando el gas incoloro de monóxido de carbono, que luego quema con una llama azul con más oxígeno del aire para producir gas de dióxido de carbono. Debido al calor liberado por ambas reacciones, el carbón vegetal alcanza un rojo esplendente e irradia energía calorífica, y el gas caliente o bióxido de carbono deja la zona de combustión, liberando, con buena suerte por convección, la mayor parte de su calor por contacto físico directo con la vasija de cocinar. La temperatura del gas decae a medida que transfiere el calor y se dispersa en el cuarto. Con el carbón vegetal generalmente no se usan conductos, puesto que su combustión es relativamente inodora y sin humos, si se la compara con la de la madera o del carbón mineral. Quemando carbón vegetal, puede liberarse gas no quemado de monóxido de

carbono, que es muy venenoso por lo que es esencial ventilar los cuartos donde se tiene carbón vegetal encendido.

El hecho que el carbón vegetal puede quemar en una hornalla compacta y portátil, sin la necesidad de un conducto, es uno de sus atributos más importantes y explica su amplia popularidad, especialmente en las ciudades y áreas construidas. En términos globales de energía, es más eficiente para un país tratar de usar la madera misma con eficiente combustión para cocinar, en lugar de convertirla antes en carbón vegetal, sería una política de difícil aplicación, ya que la mayoría de la gente que en la actualidad quema carbón vegetal, difícilmente lo cambiaría por madera. Un hornillo con chimenea que consume madera es caro. El horno mismo puede ser de tierra apisonada y no costar nada, pero un tubo de metal puede costar \$US 10 o más. Para los que viven en viviendas urbanas congestionadas, podría ser imposible instalar chimeneas, y en estos casos se imponen las características del carbón vegetal de ser un combustible no contaminante.

2.3.11. Normas de carbonización

Apenas se ha iniciado el encendido, es necesario que los fogoneros supervisen constantemente, hasta que termina la carbonización. La parva se enciende por el agujero central, introduciendo brazas de carbón vivo. Después que ha comenzado el fuego (15 a 20 minutos) debe cerrarse el agujero central. A cada 3 - 4 metros, alrededor de la base de la parva deberán abrirse bocas de ventilación, pero nunca se hace un agujero cerca de la chimenea, puesto que reduciría la corriente en el resto de la pila. Si no surge humo de la chimenea, deberá encenderse en ella un pequeño fuego para que comience a tirar.

A medida que la carbonización progresa, el montón se hunde poco a poco y pueden aparecer agujeros que deben ser inmediatamente bloqueados con pasto y arena. La chimenea deberá quitarse, si el costado donde está ubicada parece haberse completamente carbonizado.

Las diferentes fases de la carbonización son:

- Calentamiento: desde la temperatura ambiente hasta 100°C.
- Deshidratación: entre 100°C y 120°C.
- Fase exotérmica que comienza a los 270°C, alcanzando 500° a 700°C cuando termina la carbonización.
- Enfriamiento durante el cual se seca la chimenea y el cúmulo se sella herméticamente.

Después del enfriamiento se abre la parva con la ayuda de rastrillos, comenzando desde la base. Deberá cerrarse la apertura, después de sacar una parte del carbón vegetal, y debe seguirse este procedimiento hasta completar la operación.

Deberá cubrirse con arena el carbón fresco de la parva para evitar la ignición. De esta manera se evita la pérdida de calidad que sería provocada por el apagado con agua. En las bolsas se pondrá sólo carbón en bloques, descartándose los tizones y la carbonilla fina. Las bolsas se cierran con cordel, al que se le habrá atado una etiqueta para fines de control indicando el peso y el número de la carbonera.

Los tizones deberán ser quemados en la hornada siguiente. La carbonización está completándose cuando el humo comienza a disminuir y hacerse azul. A partir de este momento es el carbón mismo que se está quemando, de donde la necesidad de retirar la chimenea y cerrar herméticamente la parva. Durante la fase de la descomposición exotérmica se recogen los subproductos condensados en la base de la chimenea. El condensado es una mezcla de alquitrán de madera y ácido piroleñoso. La carbonera Casamance se basa sobre la contracorriente, o sea, el aire entra por las bocas al pie del horno y el gas caliente, en vez de escapar desde arriba, circula hacia abajo y a través de la chimenea que está conectada con la base del montón. Durante la etapa de enfriamiento, los foguistas del carbón deberían empezar a construir la parva siguiente, iniciándose con la construcción de la base.

2.3.12. Propiedades a evaluar del carbón vegetal

El carbón vegetal tiene muchas propiedades entre ellas están las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y físicas. El criterio de clasificación para que un carbón sea de buena calidad dependerá para que aplicación vaya destinado dicho carbón. En este caso el uso que se le dará al carbón será un uso de índole doméstico.

2.3.12.1. Propiedades mecánicas

Entre las propiedades mecánicas se tiene: Dureza, abrasividad, resistencia mecánica, cohesión, friabilidad, fragilidad, triturabilidad.

A) Dureza

Se mide por el tamaño y profundidad de la raya producida por un cuerpo penetrante de forma diversa (cono, esfera, pirámide) y con dureza extrema. Teniendo en cuenta esta propiedad, la antracita se comporta como un cuerpo totalmente elástico, es decir, no es rayado. Los carbones que contienen del orden de 80-85% de carbono muestran un máximo de dureza Vickers que se corresponde con un máximo también en la curva de dureza elástica.

B) Abrasividad

Es la capacidad del carbón para desgastar elementos metálicos en contacto con él. Esta propiedad nos va a condicionar enormemente el material que se tenga que usar en la maquinaria (molinos, trituradoras, etc.). Está relacionada con las impurezas que acompañan al carbón: sílice y pirita sobre todo.

C) Resistencia Mecánica

Tiene gran influencia en los sistemas de explotación del carbón. Esto es porque muchas veces la veta carbonífera se usa como paredes, techos y suelos de las propias galerías de la explotación. Además, hay que tener en cuenta que las vetas

suelen ser heterogéneas, por lo que es importante estudiar este aspecto. Se debe medir la resistencia mecánica en el sentido normal a la estratificación, tomándose el valor medio de las mediciones. Esta propiedad va a estar directamente relacionada con la composición petrográfica del carbón.

D) Cohesión

La cohesión es la acción y efecto que tiende a unir los componentes de la materia carbonosa. Se trata de una propiedad positiva o de resistencia.

E) Friabilidad

Es la capacidad que presentan los carbones de descomponerse fácilmente en granulometrías inferiores por efecto de un impacto o un rozamiento. Esta propiedad habrá que tenerla muy en cuenta en algunos procesos, puesto que nos da la tendencia del carbón a romperse durante su manipulación.

F) Fragilidad

Es la facilidad que presentan los carbones para romperse o quebrarse en pedazos. Es lo opuesto a la cohesión. Se trata de una propiedad negativa, que va a depender de su tenacidad y elasticidad, de las características de su fractura y de su resistencia.

G) Triturabilidad

Es la facilidad con la que el carbón se desmenuza sin reducirse totalmente a polvo. Es una combinación de dureza, resistencia, tenacidad y modo de fractura. Esta propiedad es cada vez más importante ya que es una propiedad mecánica del carbón, que se toma en cuenta tanto para el empleo de técnicas novedosas de combustión y para la fabricación de cemento.

2.3.12.2. Propiedades térmicas

Entre las propiedades térmicas tenemos: Potencia calorífica, conductividad térmica, calor específico, dilatación, grado de ignición.

A) Potencia calorífica

Es la propiedad más importante en esta división, ya que la potencia calorífica es el calor producido del carbón en una unidad de tiempo. Esta depende de la cantidad de humedad y de cenizas, así como de la composición de la materia orgánica.

B) Conductibilidad Térmica

Es la capacidad que presenta el carbón para conducir el calor. Tiene importancia sobre todo en los hornos de coquización, ya que el hecho de que el calor aplicado se transmita lo más rápidamente posible permite que el proceso tenga un mayor rendimiento.

C) Calor específico

Es la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1g de carbón 1°C. También es importante esta propiedad en el proceso de coquización.

D) Dilatación.

Es el aumento de volumen por efecto del incremento de temperatura. Se han hecho estudios sobre la dilatación de los carbones y se ha concluido que la antracita presenta importantes variaciones en el volumen con cambios de temperatura, pero dependiendo también de la orientación en la cual esta se encuentre.

E) Grado de Ignición

Es la facilidad con la cual una muestra de carbón logra el punto de ignición esta depende de las propiedades del carbón e influye en la velocidad de combustión.

2.3.12.3. Propiedades eléctricas

Entre las propiedades eléctricas tenemos: Conductividad eléctrica, constante dieléctrica.

A) Conductividad Eléctrica

Es la capacidad para conducir la corriente eléctrica a través de él. Se define en términos de resistencia específica, que es la resistencia de un bloque de carbón de 1cm de longitud y 1 cm de sección. La unidad es el Ωm . Esta propiedad depende de la presión, de la temperatura y del contenido en agua del carbón. El carbón es considerado en términos generales como un semiconductor.

La razón por la cual el carbón conduce la electricidad es la posesión de anillos bencénicos y radicales libres.

B) Constante Dieléctrica

Esta propiedad es más tenida en cuenta que la conductividad eléctrica. Se trata de una medida de la polarizabilidad electrostática del carbón dieléctrico. Esto está relacionado con la polarización de los electrones π que existen en los anillos bencénicos de la estructura del carbón. Está esta propiedad muy relacionada con el contenido en agua del carbón y varía con los diferentes tipos de carbón.

2.3.12.4. Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas están: Densidad, peso específico, contenido en agua, contenido de cenizas, contenido de volátiles y carbón fijo, humedad superficial, humedad residual, humedad total y tamaño.

A) Densidad

La densidad del carbón no es más que la relación entre su masa y el volumen desplazado de este.

B) Peso específico

Es el peso contenido en la unidad de volumen de un trozo de carbón en su estado natural (poros, humedad y materia mineral incluida).

C) Contenido en agua

El carbón contiene agua tanto por su proceso de formación en origen como por las transformaciones sufridas. En el carbón el agua se presenta de 3 diferentes formas: Agua de hidratación, agua de imbibición y agua ocluida.

D) Agua de Hidratación

Es la que está combinada químicamente. Forma parte de la materia mineral que acompaña al carbón.

E) Agua de Imbibición

Es la que contiene debido a procesos artificiales en la extracción y procesos posteriores, sobre todo procesos de lavado. Esta agua queda adsorbida en la superficie. Se elimina fácilmente calentando a 100-105°C.

F) Agua Ocluida

La que queda retenida en los poros del carbón. Puede proceder del lugar donde se formó el carbón o de las reacciones posteriores a esa formación.

G) Contenido de cenizas

Es la cantidad de ceniza que queda del carbón después de pasar por el proceso de combustión y quemarse en su totalidad.

H) Contenido de volátiles y carbón fijo

Esta propiedad se puede definir como la cantidad de combustible que el carbón posee, entre más alto el contenido de volátiles y carbón fijo más combustible tiene el carbón para quemar.

I) Humedad superficial

Es la humedad que el carbón gana gracias al medio circundante.

J) Humedad residual

Es la humedad que tiene el carbón después de ser secado por convección por medio de una fuente de calor.

K) Humedad total

Es la suma de la humedad superficial y la humedad residual.

L) Tamaño

Determinado por el grado de rotura que sufre en la manipulación, pero regulado por la trituración que se realiza durante el proceso.

2.3.13. Selección de las propiedades de carbón a utilizar

La selección de las propiedades que serán determinadas por medio de las pruebas de laboratorio en cada una de las muestras de carbón, fueron seleccionadas tomando en cuenta los siguientes aspectos:

A) El uso que se le dará al carbón

Para el carbón que se está analizando en este estudio se asume que será utilizado para procesos de cocción, procesos domésticos y algunos procesos industriales que no afectan los contenidos de sulfuro, es por ello que se omiten las pruebas de propiedades de contenido de sulfuro.

B) Los instrumentos de medición disponibles

La disponibilidad de instrumentos para la medición de algunas propiedades es de gran importancia debido a la disponibilidad de los instrumentos, hay propiedades que no se pueden medir en el laboratorio. El poder calorífico, la capacidad calorífica y temperatura de ignición son propiedades que no se medirán por no disponer con los instrumentos necesarios.

C) Normas internacionales para medir la calidad del carbón

La cantidad de aplicaciones posibles del carbón es muy importante. Citemos entre los sectores industriales: el carbón activo, la química, los explosivos, la cristalería, los pegamentos, la metalurgia, los productos farmacéuticos, los pigmentos, la industria del plástico, los alimentos para animales, el caucho, la corrección de suelos, entre otros. Además podemos mencionar el sector doméstico.

Los productores de carbón vegetal tienen, un mercado potencial con enormes posibilidades de expansión, siempre y cuando dispongan de los equipos que les permitan producir un carbón vegetal cuya calidad sea aceptable.

Debido a que el carbón vegetal producido en este estudio es utilizado directamente para la cocción de alimentos, se evaluarán las siguientes propiedades, basándonos en las preferencias de los comerciantes y consumidores a los que será destinado el producto:

- a) Densidad:** Debido a que los comerciantes venden el producto por peso, prefieren un carbón más pesado y denso.

- b) Contenido de:** Debido a que los consumidores desean que el carbón que compran se consuma en su totalidad en sus parrillas y no pierdan dinero con restos de carbón crudo sin quemar en las cenizas.

- c) Fragilidad :** Este un factor muy importante para los comerciantes ya que los carbones muy frágiles representan bastantes pérdidas en su manipuleo y

transporte en su destino hacia los consumidores finales, prefiriendo carbones con menor grado de fragilidad.

d) Tiempo de Ignición: Esta es la propiedad de más importancia en los restaurantes donde necesitan encender lo más pronto posible la parrilla y satisfacer la demanda de asados en el menor tiempo. Prefiriendo carbones que ardan rápido y mantengan una buena brasa por el mayor tiempo posible.

2.3.13.1. Densidad

Es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Se deberá pesar una cantidad determinada de carbón y esta misma cantidad de carbón se le medirá el volumen, de tal forma que la densidad está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \text{masa} / \text{volumen}$$

2.3.13.2. Contenido de Ceniza

Es la cantidad de ceniza que queda del carbón después de pasar por el proceso de combustión.

Procedimiento: Se necesita una muestra de 3 gramos de carbón se introduce en una mufla hasta los 700°C u 800°C luego se está pesando constantemente hasta que el peso no varíe más del 0.25% entre peso y peso, la diferencia entre el peso inicial y el final después del proceso de combustión dividido entre el peso inicial es el porcentaje o contenido de ceniza.

$$\text{Contenido de ceniza} = \text{peso inicial} - \text{peso final} / \text{peso inicial} * 100$$

2.3.13.3. Tiempo para la ignición

La Ignición ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química.

Preparación de la muestra: se deberán preparar muestras de carbón con forma de cubos de 2cm de diámetro.

Procedimiento: para realizar esta prueba se deberá calentar una muestra de carbón con un mechero Bunsen a una distancia de 4 centímetros de la llama y tomar los tiempos en segundos en que toma la muestra de carbón formar brasa.

2.3.13.4. Prueba de Fragilidad

Esta prueba se realiza para poder tener una mejor idea de que carbón se puede fracturar más fácilmente y reducir así su volumen a la hora de ser transportado o manipulado manualmente, dando como resultado una pérdida de producto potencialmente útil a la hora de ser utilizado, el carbón que tenga la menor deformación en volumen y en tamaño es el carbón de mejor calidad de entre las muestras sometidas a la prueba.

Para realizar esta prueba se pesan las muestras de carbón, luego el carbón pesado se introduce en un molino de bolas y se hace girar por 15 minutos, pasado este tiempo se para el molino y el material dentro se hace pasar por una malla de 2mm, se hace cernir la malla hasta que todos los finos del carbón pasan por esta, se pesan tanto los finos como el carbón que queda en la malla y por una diferencia de pesos se puede saber qué porcentaje de finos y de carbón útil tiene la muestra de carbón sometido a la prueba, el carbón que tenga menos porcentaje de finos es el carbón de mejor calidad. (Guardado, 2010)

2.4. MARCO REFERENCIAL

2.4.1. Descripción general del área

2.4.1.1. Ubicación, extensión y límites

La línea A-13 sector SIS se encuentra en el municipio San José La Máquina, Suchitepéquez, ubicada en las coordenadas 14°23' latitud norte y 91°35' longitud oeste. La línea se encuentra a 200 km desde la ciudad capital, en el kilómetro 195 de la carretera asfaltada y cuenta con una carretera de terracería sobre todo su eje la cual es transitable durante todo el año.

En la línea la tierra está distribuida en la siguiente manera: parcelas, calles, fajas, micro parcelas. Las parcelas son de 28 manzanas o 20 hectáreas, tienen 250 metros de frente y 800 metros de fondo. Hay parcelas de 14 manzanas o 10 Hectáreas que tienen el mismo frente y 400 metros de fondo.

Las calles son las vías de acceso a las parcelas, van de Este a Oeste y tienen 20 metros de ancho y 6 km de largo. Las fajas con áreas que se debieron dejar como barreras rompe vientos y de vocación forestal, sirven de fondo y cabecera de las parcelas, tienen 40 m metros de ancho y el largo de la calle. Las micro parcelas son áreas menores de 15 manzanas donde de igual forma se cultivan maíz y ajonjolí.

2.4.1.1.1. Mapa del área de estudio



Figura 12. Ubicación del área de estudio
Fuente: Propia

2.4.1.2. Altitud

La línea se encuentra a una altura entre los 30 y 70 metros sobre el nivel del mar.

2.4.1.3. Suelos

Los suelos se clasifican en el orden Inceptisoles, sub orden Usteps, que son suelos que están secos entre 90 y 180 días del año en su interior. Por ende presentan deficiencia de humedad. Este tipo de suelos se encuentran localizados en las regiones con menor lluvia durante el año, requieren de la aplicación suplementaria

de agua para la producción de más de una cosecha por año. La mayoría de estos suelos son de productividad baja donde predominan las arcillas plásticas. El drenaje a través de los suelos es despacio, un peligro de erosión ligero, pH de 6.4 a 7.8 y el material madre es ceniza volcánica sementada color claro.

2.4.1.4. Relieve

El relieve es plano u ondulado con pendientes suaves que varían de 0.7 al 1%. (Benítez, 1987)

2.4.1.5. Clima y Zonas de vida

Según el mapa de zonas de vida basado en el sistema Holdridge, la línea A-13 pertenece a la zona de Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) bmh-s(c). Los meses de lluvia son de mayo a octubre, con una estación seca bien definida entre noviembre y abril, teniendo una precipitación media anual de 1860 mm y 155 mm mensuales. La temperatura media anual es de 27 grados centígrados, con una máxima de 35 grados y una mínima de 22 grados. La humedad relativa media anual es de 94%, con una máxima de 100% y una mínima de 54%. (Cruz, 1982)

2.4.1.6. Servicios básicos

En la línea se cuenta con energía eléctrica, el otro tipo de energía es la leña y muy pocas personas utilizan gas propano como combustible. El servicio de agua potable son los pozos domiciliarios y comunales. El grado de educación es pre primario y primario, impartido en una pequeña escuela situada a 1 km de la entrada a línea. La comunicación es por teléfonos celulares y el transporte vehicular.

2.4.2. Recursos naturales

2.4.2.1. Tenencia y uso de la tierra

Formas de tenencia de la tierra son los adjudicatarios que son los que poseen la parcela, porque les fueron otorgadas mediante título definitivo o provisional. Aquí están agrupados los herederos del propietario fallecido. Y los poseedores no legitimados: son los que están explotando la tierra totalmente o parcialmente, no legalmente autorizados y posesionados. Gozan de un permiso, otorgado, sea por el adjudicatario o por derechos concedidos por el Instituto Nacional de Transformación Agrícola (INTA) institución que actualmente es sustituida por el fondo de tierras en parcelas intervenidas. (Benítez, 1987)

2.4.2.2. Hidrología

La línea colinda con el río SIS y presenta 2 corrientes efímeras denominadas el zanjón el Armado. (MAGA, 2001)

2.4.2.3. Flora

Entre las especies de flora del estrato alto tenemos: Mulato, Palo Blanco, Mango, Ceiba. Manaco, Conacaste, Tamarindo, Hormigo, Quebracho blanco, Caspirol, Volador, Eucalipto, Melina. Del estrato medio: Caulote, Palo de Jiote, Laurel, Piñón, Jocote, Higuerrillo, Papaya, Guayaba. De estrato bajo: Mozote, Jaragua, Napier, Tomate, Chile Pimiento, Hierba mora, Amaranthus, Melón, Ajonjolí, Maíz, Frijol, Ayote, Pasto estrella, Pasto Pensacola, Bejuquillo. (Benítez, 1987)

2.4.2.4. Aspectos Socio-económicos

Las principales actividades económicas son la agricultura cultivando maíz en los meses de mayo a julio y ajonjolí en los meses de agosto a octubre. Algunos también se dedican a la crianza de ganado bovino para carne y leche, a menor escala

encontramos explotaciones de aves y apicultura. Existen también pequeñas áreas reforestadas con plantaciones de eucalipto y melina.

En los aspectos socio-económicos cabe mencionar que el maíz ocupa el renglón mas importante en la producción, utilizando parte para su autoconsumo y lo demás para el mercado, el cual lo llegan a comprar al lugar de producción los intermediarios, pagando un precio bajo, tomando como base el precio establecido en el mercado. En orden de importancia le sigue el cultivo de ajonjolí el cual se siembra de segunda, después de la siembra del maíz. La preparación del suelo, la mayor parte de los agricultores lo hacen de forma mecanizada, con lo cual aumentan sus costos, todo esto aunado al precio de los insumos, perdidas por plagas, enfermedades, bajos precios y/o bajos rendimientos hace del maíz un cultivo poco rentable, dando como resultado ingresos poco adecuados. El tipo de migración predominante es rural-rural y urbana, procedente en su mayoría del altiplano y en algunos casos del oriente del país. Las religiones existentes son la católica y la protestante.

El costo de producción de maíz se incrementa dado a los altos precios de la preparación del suelo, mano de obra, insumos, precios de arrendamiento, unidos por las pérdidas por plagas y enfermedades, bajos rendimientos y bajos precios en la venta. Afectando todo esto a los ingresos de los agricultores, reflejando una baja rentabilidad del cultivo. (Benítez, 1987)

2.4.3. Especies Forestales en estudio

2.4.3.1. Laurel (*Cordia Alliodora*)

Una especie muy importante. Su popularidad radica en el alto valor de su madera para uso local y en mercados nacionales, la abundancia de regeneración natural y que puede ser combinada con otros cultivos (perennes y anuales). Los agricultores favorecen su regeneración dentro de sistemas agroforestales, para lo cual su copa abierta y rala, y capacidad de auto poda la hacen muy apta, permitiendo la producción de madera sin competencia excesiva con los cultivos. Su uso para reforestación en plantaciones puras es un evento relativamente reciente. Aunque la regeneración en potreros es común, el crecimiento es generalmente pobre debido a la compactación del suelo. En zonas secas, con su habilidad de rebrotar, es una de las especies que más se mantiene en milpas y barbechos, dando leña y madera para construcciones rurales.

Su crecimiento es particularmente susceptible a la fertilidad del sitio, y por lo tanto la plantación efectiva y económicamente viable estará limitada a sitios fértiles. Su copa rala puede resultar en un alto crecimiento de malezas bajo plantaciones puras, aumentando los costos. Con la presión por tierra, particularmente en sitios fértiles, *C. alliodora* tiene mayor probabilidad de ser utilizada en sistemas agroforestales que en plantaciones puras. Las bajas en el precio del café han reducido el atractivo de plantaciones de café sin sombra, aumentando el interés en el uso de sombra y en aumentar el valor de los árboles de sombra mediante el reemplazo, aunque sea parcial, de los árboles leguminosos por árboles maderables de mayor valor.

Se ha usado en muebles, ebanistería en general, puertas, marcos de ventana, tablilla, rodapié, forros interiores y exteriores de casas, molduras y pisos. Se observan también nuevos usos en juguetes, chapas decorativas, artesanías y parquet. El precio de la madera en Costa Rica ha incrementado en términos nominales pero ha disminuido en términos reales en los últimos cuatro años, principalmente cuando la madera se comercializa en pie. Los precios de la madera

que se comercializa en Costa Rica ha variado de US\$58/ m³ en 1985-1987 a US\$107/m³ en 1990. En Nicaragua, los precios actuales varían mucho según el departamento y están entre (US\$/m³) 3-8 en pie, 60-80 en rollo y 90-250 aserrada.

Crece en gran variedad de climas y suelos. Sobrevivirá bajo sombra ligera y un rango de condiciones nutritivas, como lo demuestra su amplia ocurrencia en áreas degradadas o abandonadas usadas alguna vez para pastizales o agricultura migratoria. Sin embargo, requiere plena exposición y suelos fértiles para crecer vigorosamente. Es la especie más dispersa de su género, ocurriendo en forma natural desde el norte de México a través de América Central y Sur hasta Paraguay, el sur de Brasil y el norte de Argentina. También aparece en la mayoría de las islas del Caribe. El rango se extiende desde tierras bajas planas, costeras, de arenas profundas infértiles y poca materia orgánica (Entisoles u Oxisoles), hasta tierras altas montañosas disectadas, con suelos volcánicos fértiles, profundos y ricos en materia orgánica (Andepts). A lo largo de su rango geográfico, ocurre bajo una amplia gama de condiciones ecológicas, desde muy húmedas hasta estacionales secas.

Porte: Árbol caducifolio, incluso en climas no estacionales donde pierde sus hojas por 1-2 meses después de la producción de semilla. En regiones húmedas bajas, es un árbol alto, delgado, de copa angosta, rala y abierta, con mínima bifurcación, formando un único fuste de 15-20 m, alcanzando alturas hasta 40 m y dap de más de 1 m, aunque diámetros cercanos a los 50 cm son más comunes. En climas secos los árboles son más pequeños y de peor forma, y raramente alcanzan más de 20 m de altura y 30 cm de DAP. Corteza: color gris/café claro y lisa, aunque en regiones más se- cas tiende a ser más fisurada. Algunos árboles tienen abultamientos nodales pronunciados de donde se han desprendido las ramas. Los tocones producen rebrotes abundantes, aún en el caso de árboles maduros grandes.

Ramas: es la única *Cordia* con hinchazones en las puntas de los nudos apicales, usualmente habitados por hormigas. El árbol presenta auto poda de grado variable aún en condiciones abiertas. Hojas: simples, pecioladas y alternas, más o menos

puntiagudas en la base, de hasta 5 cm de ancho y 18 cm de longitud, con el envés cubierto de pelos estrellados. Flores: 1 cm de largo y ancho, con 5 pétalos blancos, 50-3000 flores por inflorescencia. Producen néctar y son polinizadas por abejas y otros insectos. Fruto/semilla: Generalmente se desarrolla solo un embrión por fruto. Los pétalos se vuelven color café y actúan como un paracaídas para la dispersión por el viento. Aunque se utiliza el término semilla principalmente para describir la unidad de dispersión, técnicamente es un fruto seco.

La madera es una de las de mayor importancia económica en la región. El diámetro mínimo para aserrío es, por lo general, de 20 cm y una longitud mínima de 2,51 m (3 varas). La madera tiene una textura fina a medio de alto lustre, con buena fortaleza. La mayoría de las propiedades de resistencia mejoran un poco a secarse. La albura (amarilla cremosa) es más liviana que el duramen (amarillo a café, café oscuro). El duramen es muy resistente al ataque de comején, pudrición en el suelo y por hongos, aunque la albura es considerablemente más susceptible. La madera juvenil de raleos es blanca, y limita su mercado con fines decorativos. La densidad básica varía entre árboles y entre sitios (0.38-0.64 g/cm³). Los árboles de zonas secas tienen madera más pesada. En zonas secas se cosecha a tamaños menores, utilizando la madera en rolliza como vigas en construcción de casas, por ser moderadamente resistente al comején.

2.4.3.2. Caulote (Guázuma Ulmifolia)

Un árbol con una gran variedad de usos, que produce leña de alta calidad, carbón y forraje, así como madera para carpintería general y construcción rural. Es un árbol importante en sistemas silvopastoriles ya que el forraje y los frutos son altamente nutritivos y apetecidos por el ganado. Las hojas tienen un contenido en proteína de 13-17%, y los frutos 7-10%. Son comidos por vacas, caballos, cabras y cerdos, y son fuentes importantes de forraje durante la estación seca. Los frutos se comen directamente o en concentrados. En El Sauce (Nicaragua) se utilizan hojas secas, molidas a mano y mezcladas con sorgo para suplemento de proteína a gallinas.

Comparado con la dieta tradicional de sorgo, se notó un aumento en la producción diaria de huevos. Los árboles en pastos son también valiosos por su sombra.

La madera tiene un amplio rango de usos: es ligera (0.45-0.60), fácil de trabajar y se puede usar para construcción rural, muebles, duelas de barril, cajas y embalaje, mangos de herramientas, hormas para zapatos, y carbón para la fabricación de pólvora. También se usa para postes de cerca y construcciones rurales, pero no es duradera y necesita tratamiento químico si se usa para cercas. Es particularmente susceptible a termitas.

Su uso más extendido en América Central es para leña, la cual es de excelente calidad, fácil de rajar y secar, y quema bien, con buenas brasas, bastante calor y poco humo. Se comercializa en muchos lugares. Los frutos son también comestibles por las personas frescos, secos o cocinados. Con los frutos se puede preparar una bebida y los frutos secos, mascados, dejan un sabor a carne asada (de aquí el nombre de chicharrón usado en El Salvador). Las hojas y el fruto se usan como remedio casero para malestar de estómago. El látex de la corteza, hojas y fruto parece tener propiedades diuréticas y depurativas de la sangre. Se usa también para jarabes y miel. Las flores atraen abejas y son una buena fuente de miel.

Es una especie típica de pastos, orillas de carreteras y barbechos debido a que regenera fácilmente en áreas abiertas. En barbechos puede dominar la vegetación, usándose como leña. En pastos proporciona forraje y sombra. Aunque normalmente se encuentra como individuos aislados o grupos en pastos, también es plantada habitualmente en cercas vivas. A veces se planta en plantaciones puras para leña o forraje. También en linderos y a lo largo de carreteras, y pendientes para estabilización de suelos.

La madera no suele tener suficiente calidad para ser comercializada para aserrío, usándose localmente más a menudo para construcciones y carpintería general. Sin

embargo, la leña es altamente preferida y existe mercado para ella en ciertas áreas. Las hojas y frutos son importantes como suplemento en la dieta de ganado especialmente en periodos secos, pero normalmente no se comercializan.

Un componente común del bosque secundario, pero también regenera bien en bosquetes, claros, a lo largo de corrientes de agua, en pastos y laderas de colinas bajas. Es una especie pionera que coloniza rápidamente áreas abiertas. En bosque secundario, los árboles maduros se encuentran en densidades bajas, pero distribuidos regularmente en el bosque. Natural desde México a Ecuador a través de América Central, Perú, norte de Argentina, Bolivia y sur de Brasil, así como el Caribe. Se ha plantado experimentalmente en América Central, en condiciones de bosque seco, húmedo y muy húmedo. Como la especie ocurre a un gran rango de climas, al plantarla es muy importante escoger una fuente de semillas apropiada. Si la semilla proviene de una zona seca posiblemente no crecerá bien en una zona húmeda y viceversa.

Árbol pequeño, raramente de más de 8 m en condiciones abiertas y 16 m en bosque cerrado. Diámetro hasta 50 cm. Ramifica desde baja altura. Copa ancha, irregular, con ramas arqueadas. Corteza gris, con fisuras horizontales y verticales en forma de diamante. Hojas simples, alternas, formando dos hileras a lo largo de la rama. La hoja es lanceolada, 2-16 cm de largo, con borde aserrado. El haz es liso y verde oscuro, el envés verde pálido y vellosos., con venas abultadas. Los grupos de pequeñas flores amarillas se agrupan en panículas de hasta 3 cm de largo. Los frutos son cápsulas redondas, de 1.6-2.4 cm de largo, muy verrugosas. Oscurecen y endurecen al madurar, y se abren irregularmente por muchos poros pequeños, aunque sin liberar la semilla. Dentro hay cinco celdas con numerosas semillas blancas de 3 mm envueltas en una pulpa dulce.

2.4.3.3. Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*)

Eucalyptus camaldulensis, el eucalipto rojo, es un árbol del género *Eucalyptus*. Es una especie plantada en muchas partes del mundo. Es nativa de Australia donde está ampliamente expandida, en especial cerca de cursos de agua. Fue bautizada así por el monasterio Camaldoli cerca de Nápoles, de donde era el primer espécimen descrito.

Es un árbol familiar e ícono de Australia. Produce buena sombra para las extremas temperaturas en Australia central, y estabiliza bancos de río, reteniendo el suelo. Crece hasta 20 m, llega a veces a 60 m de altura; su ritidoma (corteza) gruesa (3 cm) esponjosa, mezclando los rojizos, grises, verdosos y blancuzcos. El eucalipto rojo tiene el ominoso nombre de "Hacedor de viudas", por su capacidad de desrame sin previo aviso, desprendiéndose por ej. De inmensas ramas en un instante (frecuentemente de la mitad de diámetro del tronco). Este desrame ayuda a ahorrar agua y/o es el resultado de su madera quebradiza.

Las "jangadas" formadas cuando el eucalipto rojo cae a ríos como el Murray, es una importante parte del ecosistema fluvial, y hábitat vital y sitio de crianza de los peces nativos como *Maccullochella peelii peelii*. Desafortunadamente muchas jangadas se remueven de los ríos debido al entorpecimiento de la vía fluvial. *E. camaldulensis* germina rápidamente tanto de semillas frescas como de almacenadas en condiciones de frío seco. Y también pronto adquiere resistencia a la sequía. Es un excelente bonsái, y rebrota bien de la base y del ápice epicórmico.

Este eucalipto rojo es renombrado por su brillante madera rojiza, oscilando entre rosa suave a rojo negruzco, dependiendo de la edad. Es muy quebradizo y generalmente de grano cruzado, haciendo el trabajo manual difícil. Tradicionalmente se usó para aplicaciones de resistencia como vigas, postes. Más recientemente para mueblería fina por su espectacular color rojizo profundo y típicas figuras en la albura. Necesita cuidadosa selección para hacerla más fuerte a los cambios de

humedad. Es densa (900 kg/m³), muy dura, admite buen brillo. Por supuesto que todo mejora aún con madera estacionada y de edad.

Popular leña. La madera produce excelente carbón y es exitosamente usada en Brasil para la siderurgia de hierro y de acero. Además, el árbol se usa para polinización con abejas en Brasil y en Argentina. Es uno de los eucaliptos más plantados mundialmente (ca. 5.000 km² plantados) (NAS, 1980a: Argentina, EEUU, Brasil, Egipto, Kenia, Marruecos, Nigeria, Pakistán, Senegal, Sierra Leona, España, Paraguay, Perú, Sri Lanka, Sudán, Tanzania, Alto Volta, Uruguay, Zimbabwe. En Serradilla (Cáceres) donde abundan estos ejemplares, (en el Jardín y paseo del Cementerio) desde hace 80 años, se usaban las hojas, para curar catarros.

2.4.3.4. Patamula (*Albizia niopoides*)

El uso principal de esta especie es por su madera. Sus usos incluyen construcción pesada y en general, postes de minas, carpintería, carretas, pisos, muebles, mangos de herramientas, postes de cerca y estacas. También en construcción se usa para formaletas para concreto y para madera de cuadro. También proporciona sombra y a veces se planta como ornamental. En Honduras se usa como abono verde y como forraje. Las hojas son apetecidas por el ganado y tienen alto contenido en proteína (20%). Los árboles crecen en potreros, reservas y solares.

Los árboles pueden proporcionar madera de construcción desde los 15-20 años, por lo que es una especie que puede ser usada en pequeñas plantaciones de crecimiento rápido. La madera es pesada (peso específico 0.68 g/cm³) y moderadamente difícil de trabajar, con una textura rugosa, aunque toma un buen lijado. Es resistente a la podredumbre, así como moderadamente fácil de tratar químicamente. La madera seca rápidamente al aire, causando muchos defectos, que se pueden reducir mediante apilar la madera más densamente.

Es una especie muy común, especialmente en la vertiente del Pacífico, ocurriendo como individuos aislados en bosques deciduos o semideciduos, o a veces en bosques más húmedos siempre verdes. Tolera la competencia y puede sobrevivir fuegos rastreros. Desde el sur de México a través de América Central y las Antillas hasta Colombia, Venezuela, Bolivia, Perú y Brasil. La forma del árbol es más recta que la de otras especies de Albizia, por lo que proporciona menos sombra. Tolera la competencia y también es tolerante de desrames. Para madera de calidad se requieren podas de formación.

El árbol crece hasta 25-30 m (ocasionalmente hasta 40 m) y hasta 100 cm DAP. Tiene un tronco corto y su altura se compone principalmente de una copa amplia, redondeada y extendida. La corteza es marrón claro a dorada, con una textura suave y pulverulenta, y que se pela en trozos. Tiene unas cicatrices características en forma de cráter que parecen haber sido excavadas con un cincel. Las hojas son alternas y bipinadas, de 8-28 cm de largo con 5-10 pares de pinas de 4-10 cm de largo y con 30-60 pares de folíolos. Las diminutas flores se apiñan en panículas de 5-8 mm de diámetro en el extremo de las ramillas, de color blanco o rosadas. Las vainas son estrechas, planas y suaves, de 8-16 cm de largo y unos 2 cm de ancho, con hasta 13 semillas por vaina. Cuando maduran, las vainas son de color café, duras y como rugosas como papel, y se abren por los lados para liberar las semillas de unos 6 mm de diámetro. (CATIE, 2003)

2.5. HIPÓTESIS

Ho nula

No existen diferencias significativas en las propiedades físicas del carbón producido con las especies forestales utilizadas.

Ha alternativa

Sí existen diferencias significativas en las propiedades físicas del carbón producido con las especies forestales utilizadas.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Evaluar cuatro especies forestales de rápido crecimiento para la producción de carbón vegetal.

2.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar la especie forestal que produce el carbón de mejor calidad en función de densidad, contenido de cenizas, fragilidad y tiempo de ignición.
- Efectuar un sondeo de la aceptación del carbón obtenido con las cuatro especies forestales para determinar que especie prefieren los consumidores.
- Determinar la especie forestal que produce el mayor rendimiento en la conversión leña a carbón.
- Generar una guía de las especies en estudio para los productores de carbón de la zona.

2.7. METODOLOGÍA

2.7.1. Tratamientos y material seleccionado

El experimento se realizó en la Finca San Francisco, ubicada en la línea A-13, sector SIS del municipio San José La Máquina, Suchitepéquez, ubicada a 2 km de la entrada, situada en frente de la Iglesia Católica.

Se definió como material experimental la leña de 4 especies forestales: eucalipto (*Eucalyptus camaldulenses*), patamula (*Albizia niopoides*), caulote (*Guásuma ulmifolia*) y laurel (*Cordia alliodora*). Eligiendo cada lote de leña para cada especie como un tratamiento individual.

2.7.1.1. Diseño experimental

Se empleó un diseño estadístico Completamente al Azar, en el que se tiene un experimento con 4 tratamientos, esto significa que fueron designados cada uno de los tratamientos a cada una de las especies forestales, definiendo realizar 4 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 1 a la carbonización de leña de Laurel, tratamiento 2 a la leña de Caulote, tratamiento 3 a la leña de Eucalipto y tratamiento 4 a la leña de Patamula. (9)

2.7.1.2. Unidad de muestreo

Como la unidad muestra, se consideró cada evento u hornada de carbón, teniendo un volumen total de 12 m³, los cuales estaban integrados por cada especie forestal con 3 m³ para cada especie.

2.7.2. Manejo del experimento

2.7.2.1. Preparación de la materia prima

Se compraron 3 tareas o metros cúbicos de leña para cada especie seleccionada, para contar con suficiente material experimental para los tratamientos y sus repeticiones. El material obtenido de cada especie forestal se secó a la intemperie durante tres semanas. Se preparó leña de diámetros entre 5 y 25 cm. De grosor y 40 cm de largo aproximadamente. (1)

2.7.2.2. Construcción del horno artesanal tipo parva modificado

Como se puede observar en Anexos. La parva para la quema de carbón vegetal construido, fue de 1 metro de diámetro en la base y de 1 m de altura, aproximadamente un hemisferio aplastado. En la base, se hicieron 4 tomas de aire, y una apertura arriba, de alrededor de 20 cm de diámetro para realizar la ignición de la leña, luego de carbonizada la leña todas las aperturas deben ser selladas con tierra cuando se ha concluido la quema, permitiendo el enfriamiento del cúmulo.

Se limpió un espacio de alrededor de 3 metros, se niveló y compactó, para que fuera bien drenado. Se colocó un poste de alrededor de 1 m de alto, en lo que será el centro de la pila de leña, para facilitar la acumulación de la madera, para dar estabilidad a la pila y para dar un soporte al operador cuando se tapa el apilado con láminas y toneles que luego serán son cubiertos con tierra. Se deja un agujero superior para encender la parva. Una vez realizado el proceso de ignición total de la leña se procede a cubrir con tierra las láminas para sellar bien las salidas y entradas de aire a la parva.

Apilado de la leña: Se coloca antes, sobre el suelo y radialmente, una tejedura de pequeñas trozas cruzadas, para formar un círculo de alrededor de 1 metro de diámetro. Luego se empaca densamente la madera, que debe ser carbonizada sobre esta plataforma, cuya finalidad es que el fuego y los gases calientes circulen

correctamente. Las piezas más largas de leña se colocan verticalmente hacia la periferia, con el fin de desarrollar un perfil más o menos regular. Los espacios entre las trozas se rellenan con madera chica, para que la parva resulte lo más densa posible. La superficie de la pila se empaca con leña pequeña en lo necesario, para lograr un perfil lo más uniforme posible, y crear un buen soporte para su recubrimiento con las láminas y toneles. Una buena norma es la de dejar que la madera apilada se seque por un período más largo posible sobre la pila, y luego se cubre con tierra franco-arenosa. Es preferible un suelo arenoso o franco que encoja poco por el secado, debiéndose evitar las arcillas muy plásticas, con una definida tendencia a rajarse y encogerse cuando se secan y calientan. Carbón fino puede mezclarse con la tierra. El espesor de la cobertura variará según la lisura de la pila de madera, pero es típicamente de 10 - 20 cm, El revestimiento deberá ser revisado para sellar todas las rajaduras y uniones de las láminas para evitar que entre tierra al horno y este afecte la carbonización adecuada y uniforme de la leña. También controlar que queden abiertas las bocas de aire en la base del cúmulo, que son las que nos indicaran el momento oportuno para ahogar el fuego y apagar el horno.

Funcionamiento del horno: Se introduce en el agujero superior de la parva una palada de madera y carbón encendidos, que encienden la madera inflamable colocada en la parte superior de la parva, y cuando un humo denso y blanco sale de arriba, significa que el fuego ha tomado. En el curso de días, el humo se vuelve azulado y finalmente se vuelve prácticamente transparente. El tiempo requerido para completar la combustión depende del contenido de humedad de la leña y de la regularidad de la circulación del gas dentro de la parva. El operador debe darse cuenta de la presencia de puntos fríos o calientes sobre las paredes para abrir o cerrar las bocas de aire al pie. En ningún momento debe llegarse a ver calor rojo a través de ellas, y si apareciera, la boca debe ser cerrada. Las rajaduras que pueden formarse sobre el manto, deben ser rellenadas con tierra arenosa suave. Cuando se cree que la quema ha finalizado, deben cerrarse con cuidado la apertura de arriba y todas las entradas de aire en la base, con ladrillos o piedras con arcilla. Se dejara

enfriando aproximadamente de 1 a 2 días para luego proceder a echar agua sobre la tierra que cubre las láminas, la cual ayudad a enfriar y a sellar cualquier entrada de aire al horno. (5)

2.7.2.3. Toma de datos y variables de respuesta

La sistematización de datos se mantuvo durante todo el ensayo, tomando registro de la cubicación de materia prima, volumen inicial de la leña a cargar en el horno, volumen del carbón total obtenido en cada hornada para determinar porcentajes de conversión. Se registraran la densidad aparente, tiempo de ignición, fragilidad y cantidad de cenizas de cada muestra de carbón para las diferentes especies utilizadas.

2.7.2.3.1. Medición de la densidad del carbón

1. Para obtener la densidad del carbón se necesita conocer la masa y el volumen de una muestra para luego sustituir estos valores en la ecuación:

$$\rho = m/v$$

donde:

ρ : Densidad en (Kg/m³)

m: Masa en (Kg)

v: Volumen en (m³)

2. Masa de la muestra de carbón.

-Se tomó una muestra de carbón con las dimensiones de 1cmx1cmx1cm la cual fue pesada en una balanza analítica.

-Este proceso se llevó a cabo 3 veces para luego sacar el promedio de estos valores, esto es con

el objetivo de tener un error mínimo y así tener el valor de masa promedio de la muestra.

3. Volumen de la muestra de carbón.

-Se tomó la muestra a la que se le midió la masa y una probeta de 100ml llena hasta la marca de 50ml, luego la muestra se sumergió en 64ml de parafina por 3 a 4 segundos este proceso tiene el objetivo de crear una pequeña película de parafina alrededor de la muestra para que no entre agua en las porosidades del carbón, se dejó que esta se seque para luego introducir la muestra en la probeta con los 50ml de agua, luego se tomó un trozo de alambre de aproximadamente 10cm de longitud, este se colocó sobre la muestra de carbón con fin de sumergirla, esto ocasionó que el volumen de agua comenzara a ascender y diera una nueva lectura de volumen, con este dato se hizo la diferencia de volúmenes y sí obtuvimos el volumen de la muestra de carbón.

2.7.2.3.2. Contenido de ceniza

El contenido de ceniza de carbón es un porcentaje que quedan al someter el carbón a un proceso de calcinación total, este proceso se llevará a cabo de la siguiente manera:

Paso 1: Se pesó una cantidad de carbón de la muestra seleccionada a analizar en una balanza analítica.

Paso 2: Se colocó esta muestra de carbón sobre la rejilla especial donde se dará el proceso de calcinación.

Paso 3: Se procedió a armar la base para sostener la rejilla y el mechero bunsen para dar inicio al proceso de calcinación.

Paso 4: se comenzó el proceso de calcinación del carbón.

Pasó 5: Luego de calcinada la muestra de carbón en su totalidad se procedió a pesar la cantidad de ceniza en la rejilla, y con este peso se sacó el porcentaje de ceniza por una diferencia de pesos, mediante la fórmula:

$$\% \text{ contenido de ceniza} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

2.7.2.3.3. Fragilidad

Esta prueba se realizó para poder saber que carbón es mejor a la hora de ser transportado, ya que cuando este tiende a quebrarse en partículas más pequeñas durante su manipuleo, transporte, carga y descarga. Dando como resultado una perdida sustancial de producto efectivo a la hora de ser utilizado.

Paso 1: Se pesó una cantidad inicial de la muestra de carbón a analizar.

Paso 2: Ya pesado el carbón se procedió a introducirlo al molino de bolas.

Paso 3: Se hizo girar el molino durante 15 minutos.

Pasó 5: Pasados los 15 minutos se detuvo el molino y se procedió a abrirlo.

Paso 6: Se utilizó un tamiz número 20 mesh para poder separar los finos del carbón.

Paso 7: Se colocó todo el contenido del molino en el tamiz.

Paso 8: Se hizo cernir el tamiz para poder separar los finos del carbón.

Paso 9: Se procedió a pesar los gruesos por medio de una balanza analítica, y por una diferencia de pesos se pudo sacar el porcentaje de finos de cada muestra de carbón, mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de fragilidad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100$$

2.7.2.3.4. Tiempo de ignición

La Ignición ocurre cuando el calor que emite una reacción llega a ser suficiente como para sostener la reacción química. Esta prueba se realizó con el objetivo de calcular el tiempo promedio en el cual un volumen determinado de carbón comienza a quemarse. Para poder comparar cual carbón se quema más fácilmente. Procedimiento:

Paso 1: Se tomó un trozo de carbón de carbón seco lo suficientemente grande como para hacer un cubo de 4 cm de cada lado.

Paso 2: Con la ayuda de una sierra se cortó un cubo de carbón de 4 cm para cada lado.

Paso 3: Se armó el equipo del mechero bunsen y se colocó el cubo de carbón a una distancia de 3 cm de la llama.

Paso 4: Se encendió el mechero y se tomó el tiempo en el cual la cara que se encontraba en contacto íntimo con la llama comenzara a quemarse y se formara una brasa que fuera capaz de mantenerse encendida sin apagarse al ser retirada del contacto con la llama.

2.7.2.3.5. Sondeo de aceptación

Del carbón obtenido para cada tratamiento se reservaron 3 sacos en las presentaciones que se comercializan entre los consumidores, con lo que se tuvo material suficiente para las pruebas de aceptación. Se efectuó un evento grupal de sondeo, para tipificar la aceptación o rechazo con 3 restaurantes diferentes y 3 comerciantes dedicados a la comercialización por menudeo, uniformizando la información recabada mediante una Boleta (revisar en Anexos), con preguntas de respuesta cerrada a cada usuario entrevistado. A los entrevistados se les brindó un saco de cada tratamiento de carbón marcados como muestra 1, 2, 3, 4 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 encendido 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.

2.7.2.3.6. Rendimiento en volumen de la conversión leña a carbón

Se realizó visitas personales a los productores de la línea A-13 para recabar información sobre que especies forestales preferían los carboneros para hacer carbón en base a la cantidad de sacos producidos por metro cubico, los costos y la facilidad de acceso a los mismos. Luego de realizada nuestra investigación en la finca San Francisco, se pudo comprobar los datos recabados en el área sobre la producción de carbón respecto a sacos producidos por metro cubico, dependiendo de la especie utilizada, los costos y la facilidad de compra.

2.8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 1) Se realizó la toma de muestras de cada especie forestal ya carbonizadas, las cuales fueron envueltas en papel mayordomo y empacadas herméticamente en bolsas tipo ziploc. Para evitar cualquier contaminación o alteración por factores externos de las propiedades del carbón vegetal.

- 2) Se identificó las muestras de carbón de las 4 especies forestales mediante etiquetas.

- 3) Se tomó los valores de Densidad, Contenido de Ceniza, Fragilidad y Tiempo de Ignición en los laboratorios de Química de la Fausac los meses de noviembre y febrero.

2.8.1. Prueba de densidad

2.8.1.1. Análisis de varianza para densidad:

T1 = Laurel

T2 = Caulote

T3 = Eucalipto

T4 = Patamula

4 Repeticiones (r1, r2, r3, r4)

Análisis de varianza para densidad

	r1	r2	r3	r4	Sumatoria	Promedio
T1	349.00	347.00	348.00	346.00	1390.00	347.50
T2	460.10	462.30	460.00	463.00	1845.40	461.35
T3	529.70	530.10	531.00	529.50	2120.30	530.08
T4	513.20	514.00	513.10	514.30	2054.60	513.65
				Total	7410.30	463.14

Repeticiones al cuadrado

	r 1	r 2	r 3	r 4	total Yi
T1	121801	120409	121104	119716	483030
T2	211692.01	213721.3	211600	214369	851382.3
T3	280582.09	281006	281961	280370.3	1123919
T4	263374.24	264196	263271.6	264504.5	1055346
				suma Yi	3513678

FV	GL	SC	CM	Fo		F
Tratamientos	3	81629.471 9	27209.824	22694.5534 3	>	5.95
Error	12	14.3875	1.1989583 3			
Total	15	81643.859 4				

Factor de corrección: $FC = \frac{Y^2}{t*r}$

FC = 3432034.13

Suma de cuadrados

sc tratamientos = $\sum_{i=1}^{n_t} \frac{Y_i^2}{r} - FC = 81629.4719$

sc total = $\sum_{1=1}^{n_t} y_{ij}^2 - FC = 81643.8594$

SCE = sc tot – sc trats = 14.3875

(sc error)

Cv = $(\sqrt{CMe}/\mu) * 100$

Coefficiente de variación = 0.819%

Se acepta la hipótesis alternativa ya que al menos uno de los tratamientos muestra diferencias significativas respecto a los demás. (Montgomery, 2009)

- Aunque los 4 tratamientos están por encima del rango reportado por la FAO como carbón de buena calidad de 250 a 300 kg/m³. Por medio de esta prueba se comprueba que todos los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí. Siendo el que menor densidad presentó el tratamiento 1 (laurel) y los que mayor densidad reflejaron los tratamientos 3 (eucalipto) y tratamientos 4 (patamula) respectivamente.

2.8.1.2. Prueba de Tukey para densidad:

Comparación de medias para densidad

tratamientos	Especies	Media	Grupo tukey
T1	Laurel	347.50	A
T2	Caulote	461.35	B
T3	Eucalipto	530.08	C
T4	Patamula	513.65	D

$q\alpha = (\text{tratamientos, grados de libertad del error}) = (4,12)$ (ver tabla de Tukey)

$q\alpha = 5.5$

$CME = 1.198958$

$r = 4$

$Sx = \sqrt{CME/r} = 0.547485$

$Wp = q\alpha * Sx = 3.011166$ **comparador**

Ordenamiento de medias; horizontalmente de mayor a menor y verticalmente de menor a mayor

		T3		T4		T2		T1	
		530.08		513.65		461.35		347.50	
T1	347.50	182.5750	*	166.1500	*	113.8500	*	0.0000	Ns
T2	461.35	68.7250	*	52.3000	*	0.0000	ns		
T4	513.65	16.4250	*	0.0000	Ns				
T3	530.08	0.0000	Ns						

- Según la prueba de Tukey, todos los tratamientos son distintos y presentan diferencias significativas entre sí. Los tratamientos T3 (eucalipto) y T4 (patamula) son los que mayor densidad presentan.
- Se comprobó por medio de la prueba de densidad que las 4 especies producen un carbón de buena calidad en cuanto a sus densidades ya que están en el rango que establece la FAO (1) de 250 a 300 kg/m³. Siendo el que mejor densidad demostró el carbón de eucalipto con 530.08 kg/m³. El valor de densidad se relaciona con el contenido de carbono que poseen las especies.

2.8.2. Prueba de contenido de ceniza

2.8.2.1. Análisis de varianza para contenido de ceniza:

T1 = Laurel

T2 = Caulote

T3 = Eucalipto

T4 = Patamula

4 Repeticiones (r1, r2, r3, r4)

Análisis de varianza para contenido de ceniza

	r1	r2	r3	r4	Sumatoria	Promedio
T1	92.00%	93.00%	91.00%	92.00%	3.68	0.92
T2	75.00%	74.00%	75.00%	73.00%	2.97	0.74
T3	65.00%	64.00%	65.00%	66.00%	2.60	0.65
T4	83.00%	82.00%	81.00%	80.00%	3.26	0.82
				Total	12.51	0.78

Repeticiones al cuadrado

	r 1	r 2	r 3	r 4	Total Yi
T1	0.8464	0.8649	0.8281	0.8464	3.3858
T2	0.5625	0.5476	0.5625	0.5329	2.2055
T3	0.4225	0.4096	0.4225	0.4356	1.6902
T4	0.6889	0.6724	0.6561	0.64	2.6574
				Suma Yi	9.9389

FV	GL	SC	CM	Fo		F
Tratamientos	3	0.15646875	0.05215625	532.659574	>	5.95
Error	12	0.001175	9.7917E-05			
Total	15	0.15764375				

Factor de corrección: $FC = \frac{Y^2}{t*r}$

$$FC = 9.78125625$$

Suma de cuadrados

$$\text{sc tratamientos} = \sum_{i=1}^{n_t} \frac{Y_i^2}{r} - FC = 0.15646875$$

$$\text{sc total} = \sum_{i=1}^{n_t} y_{ij}^2 - FC = 0.15764375$$

$$\text{SCE} = \text{sc tot} - \text{sc trats} = 0.001175$$

(sc error)

$$Cv = (\sqrt{CMe/\mu}) * 100$$

Coefficiente de variación = 4.384%

- Se acepta la hipótesis alternativa ya que al menos uno de los tratamientos demuestra diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. (Montgomery, 2009)
- Según el coeficiente de variación todos los tratamientos reflejan un diferente contenido de cenizas, el tratamiento que menos contenido de cenizas presentó fue el 3 (Eucalipto), debiéndose esto a que la muestra de carbón no llega a consumirse en su totalidad por su bajo contenido de volátiles y una gran dificultad para poder mantener una brasa con alta temperatura capaz de calcinar en su totalidad el carbono fijo de la muestra.

2.8.2.2. Prueba de Tukey para contenido de ceniza:

Comparación de medias para el contenido de cenizas

Tratamientos	Especies	Media	Grupo tukey
T1	Laurel	92%	A
T2	Caulote	74%	B
T3	Eucalipto	65%	C
T4	Patamula	82%	D

$q\alpha = (\text{tratamientos, grados de libertad del error}) = (4,12)$ (ver tabla de Tukey)

$q\alpha = 5.5$

$CME = 9.7917E-05$

$r = 4$

$Sx = \sqrt{CME/r} = 0.004948$

$Wp = q\alpha * Sx = 0.027212 = 2\% \text{ comparador}$

Ordenamiento de medias horizontalmente de mayor a menor y verticalmente de menor a mayor

		T1		T4		T2		T3	
		0.92		0.82		0.74		0.65	
T3	0.65	0.2700	*	0.1650	*	0.0925	*	0.0000	ns
T2	0.74	0.1775	*	0.0725	*	0.0000	Ns		
T4	0.82	0.1050	*	0.0000	Ns				
T1	0.92	0.0000	Ns						

- La prueba de Tukey indica que todos los tratamientos son diferentes entre sí. Según el comparador todos los tratamientos son distintos. El tratamiento 1 fue el que mayor contenido de cenizas presenta al ser calcinado en su totalidad con un 92%, seguido por el tratamiento 2 con 82%, esta es una característica deseable por los consumidores debido a que no quedan rastros de carbón crudo o sin quemar en las parrillas.
- Para la prueba de cenizas se demostró que la especie que reflejó un mayor contenido de cenizas al ser calcinada fue el laurel y el que menor contenido de cenizas obtuvo fue el eucalipto, debiéndose esto a que no todo el carbón se llegó a calcinar en su totalidad, encontrándose restos de carbón no quemado el cual ya no se pudo hacer arder por ningún medio.

2.8.3. Prueba de fragilidad

2.8.3.1. Análisis de varianza para fragilidad:

T1 = Laurel

T2 = Caulote

T3 = Eucalipto

T4 = Patamula

4 Repeticiones (r1, r2, r3, r4)

Análisis de de varianza para la prueba de fragilidad

	r1	r2	r3	r4	Sumatoria	Promedio
T1	23.00%	24.00%	35.00%	26.00%	1.08	0.27
T2	20%	21%	20%	19%	0.80	0.20
T3	16.00%	15.00%	16.00%	16.00%	0.63	0.16
T4	13.00%	14.00%	14.00%	13.00%	0.54	0.14
				Total	3.05	0.19

Repeticiones al cuadrado

	r 1	r 2	r 3	r 4	Total Yi
T1	0.0529	0.0576	0.1225	0.0676	0.3006
T2	0.04	0.0441	0.04	0.0361	0.1602
T3	0.0256	0.0225	0.0256	0.0256	0.0993
T4	0.0169	0.0196	0.0196	0.0169	0.073
				Suma Yi	0.6331

FV	GL	SC	CM	Fo		F
Tratamientos	3	0.04231875	0.01410625	18.056	>	5.95
Error	12	0.009375	0.00078125			
Total	15	0.05169375				

Factor de corrección: $FC = \frac{Y^2}{t*r}$

$$FC = 0.58140625$$

Suma de cuadrados

$$\text{sc tratamientos} = \sum_{i=1}^{n_t} \frac{Y_i^2}{r} - FC = 0.04231875$$

$$\text{sc total} = \sum_{i=1}^{n_t} y_{ij}^2 - FC = 0.05169375$$

$$\text{SCE} = \text{sc tot} - \text{sc trats} = 0.009375$$

(sc error)

$$Cv = (\sqrt{CMe/\mu}) * 100$$

$$\text{Coeficiente de variación} = 50.793\%$$

Se acepta la hipótesis alternativa ya que al menos uno de los tratamientos demuestra diferencias significativas sobre los demás. (Montgomery, 2009)

- En esta prueba se comprobó que el tratamiento 1 (laurel) fue el que mayor fragilidad posee para ser transportado o manipulado. Y además demostró una diferencia significativa respecto a los tratamientos 2 (caulote), tratamiento 3 (eucalipto) y el tratamiento 4 (patamula) los cuales son menos frágiles que el tratamiento 1.

2.8.3.2. Prueba de Tukey para fragilidad:

Comparación de medias para la prueba de fragilidad

Tratamientos	Especies	Media	Grupo tukey
T1	Laurel	27%	A
T2	Caulote	20%	A
T3	Eucalipto	16%	AB
T4	Patamula	14%	ABC

$q\alpha = (\text{tratamientos, grados de libertad del error}) = (4,12)$ (ver tabla de Tukey)

$q\alpha = 5.5$

$CME = 0.000781$

$r = 4$

$S_x = \sqrt{CME/r} = 0.013975$

$W_p = q\alpha * S_x = 7.69\%$ **comparador**

		T1		T2		T3		T4	
		0.2700		0.2000		0.1575		0.1350	
T4	0.1350	0.1350	*	0.0650	Ns	0.0225	Ns	0.0000	Ns
T3	0.1575	0.1125	*	0.0425	Ns	0.0000	Ns		
T2	0.2000	0.0700	Ns	0.0000	ns				
T1	0.2700	0.0000	Ns						

- Según el comparador, la Prueba de Tukey indica que el tratamiento 1 es el que mayor fragilidad presenta respecto a los demás tratamientos y que los tratamientos 2, 3 y 4 no presentan diferencias significativas entre sí, pudiendo afirmar que los tratamientos 2,3 y 4 poseen la misma fragilidad de carbón al ser transportados o manipulados.
- Mediante la prueba de fragilidad se concluye que el carbón de laurel resultó ser el más frágil de los 4 tratamientos y presentó diferencias significativas respecto a las demás especies, siendo distinto para los carbones de caulote, eucalipto y a los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí en cuanto a su fragilidad, presentando niveles bajos de esta propiedad, la que los hace más preferidos por los consumidores para ser transportados y manipulados.

2.8.4. Grado de ignición

2.8.4.1. Análisis de varianza para grado de ignición:

T1 = Laurel

T2 = Caulote

T3 = Eucalipto

T4 = Patamula

4 Repeticiones (r1, r2, r3, r4)

Análisis de varianza para el grado de ignición

	r1	r2	r3	r4	Sumatoria	Promedio
T1	30	35	32	31	128.00	32.00
T2	20	25	22	28	95.00	23.75
T3	960	1080	600	900	3540.00	885.00
T4	40	34	35	39	148.00	37.00
				Total	3911.00	244.44

Repeticiones al cuadrado

	r 1	r 2	r 3	r 4	Total Yi
T1	900	1225	1024	961	4110
T2	400	625	484	784	2293
T3	921600	1166400	360000	810000	3258000
T4	1600	1156	1225	1521	5502
				Suma Yi	3269905

FV	GL	SC	CM	Fo		F
Tratamientos	3	2188733.19	729577.729	69.940566	>	5.95
Error	12	125176.75	10431.3958			
Total	15	2313909.94				

Factor de corrección: $FC = \frac{Y^2}{t*r}$

FC = 955995.063

Suma de cuadrados

sc tratamientos = $\sum_{i=1}^{n_t} \frac{Y_i^2}{r} - FC = 2188733.19$

sc total = $\sum_{i=1}^{n_t} y_{ij}^2 - FC = 2313909.94$

SCE = sc tot – sc trats = 125176.75

sc error)

$Cv = (\sqrt{CMe/\mu}) * 100$

Coefficiente de variación = 144.742%

- Se acepta la hipótesis nula ya que al menos uno de los tratamientos presenta diferencias significativas sobre los demás tratamientos. (Montgomery, 1999)
- Con esta prueba se comprueba que el tratamiento 3 (eucalipto), fue al que mayor tiempo le tomo entrar en combustión debido a su bajo contenido de volátiles, encargados de hacer arder y mantener la brasa del carbono fijo de la muestra. Ahora para los tratamientos 1,2 y 4 estos no presentaron diferencias significativas entre sí.

2.8.4.2. Prueba de Tukey para grado de ignición:

Comparación de medias para la prueba de Ignición

Tratamientos	Especies	Medias	Grupo tukey
T1	Laurel	32.00	A
T2	Caulote	23.75	A
T3	Eucalipto	885.00	B
T4	Patamula	37.00	A

$q\alpha = (\text{tratamientos, grados de libertad del error}) = (4,12)$ (ver tabla de Tukey)

$q\alpha = 5.5$

$CME = 10431.4$

$r = 4$

$Sx = \sqrt{CME/r} = 51.0671$

$Wp = q\alpha * Sx = \mathbf{280.8691}$ **comparador**

Ordenamiento de medias; horizontalmente de mayor a menor y verticalmente de menor a mayor.

		T3		T4		T1		T2	
		885.00		37.00		32.00		23.75	
T2	23.75	861.2500	*	13.2500	Ns	8.2500	ns	0.0000	Ns
T1	32.00	853.0000	*	5.0000	Ns	0.0000	ns		
T4	37.00	848.0000	*	0.0000	Ns				
T3	885.00	0.0000	Ns						

- Por medio del comparador la prueba de Tukey indica que el tratamiento 3 (eucalipto) muestra diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Y para los tratamientos 1 (laurel), 2 (caulote) y el 4 (patamula) no existen diferencias significativas entre sí, por lo que se concluye que poseen el mismo grado de ignición.
- Mediante la prueba de ignición se concluye que las especies de laurel, caulote y patamula no mostraron diferencias significativas entre sí, en cuanto el tiempo que les llevó formar brasa, siendo el que menos tiempo le llevó el caulote con 23 segundos, seguido por el laurel con 32 segundos y patamula con 37 segundos. Ahora para el carbón de eucalipto si se encontraron diferencias significativas con respecto a los demás especies, reflejando una gran diferencia con 885 segundos, siendo esta propiedad un factor clave en el rechazo por parte de los consumidores que prefieren un carbón que arda con mayor facilidad.

2.8.5. Sondeo de aceptación

Para el sondeo de aceptación se utilizó el criterio de parrilleros reconocidos con años de experiencia en la utilización de carbón y el asado de carnes de restaurantes de prestigio.

Los resultados obtenidos mediante el sondeo, revelan datos que permitieron establecer que en general, cada tipo de carbón obtuvo una buena aceptación de parte de los parrilleros de restaurantes y comerciantes, con la excepción del tratamiento 3 (eucalipto) el cual fue rechazado por los restaurantes de parrilladas debido a lo difícil y prologando de lograr hacerlo arder, también a que hay que estarlo soplando constantemente para evitar que la brasa pierda fuerza y a que el carbón no llega a consumirse en su totalidad, dejando restos crudos sin quemar en sus cenizas.

Mediante la boleta número 1 en Anexos, se pudo recabar información para el sondeo, el cual ayudo 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 ¿por qué 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 los entrevistados aseveran que el carbón que más fácil “prende” es el de la muestra 1 (laurel), seguido por la muestra 2 (caulote), debiéndose esto a sus bajas densidades y alto contenido de volátiles posiblemente, aunque la muestra 4 (patamula) no presentó muchas diferencias respecto a la muestra 1 y 2 a pesar de tener una densidad mucho más alta que las anteriores; siendo esta última preferida por los comerciantes a los cuales les interesa más adquirir un carbón más denso y pesado debido a que la comercialización se realiza por libra. La muestra más difícil de encender y rechazada por los restaurantes fue

la muestra 3 (eucalipto), este tipo de carbón fue bastante difícil de hacerlo arder y una vez realizado, lograr que este mantuviera una buena brasa sin la necesidad de tenerlo que estar soplando para avivarlo y mantener la brasa.

Respecto a la presencia de humo durante la ignición y proceso de combustión se indicó que las muestras 1(laurel), 2(caulote) y 4(patamula), no generaban humo durante su combustión, a diferencia de la muestra 3 (eucalipto) que si generó humo durante su ignición y un poco durante su combustión; siendo esto un factor no deseable de parte de los consumidores y comerciantes ya que el humo generado por el carbón generalmente agrega sabores no deseables a la carne y es molesto para las vías respiratorias y visión de los parrilleros encargados de cocinar en los restaurantes o cocinas.

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 de la muestra 3 (eucalipto), que posee un mayor contenido de carbono puro por ser más denso y con un menor contenido de materiales volátiles según la revisión de bibliografía, 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 la muestra 2 (caulote), el cual a los 5 minutos estaba totalmente encendido, seguido por la muestra 1 (laurel), a los 7 minutos y en una tercera posición la muestra 4 (patamula) a los 9 minutos respectivamente. Quedando descartada el material de la muestra 3 (eucalipto), el cual tomaba de 25 a 30 minutos hacerlo arder y había que estar soplándolo para evitar que este se apagara.

Como se muestra la boleta de los anexos, se pidió a los parrilleros de los restaurantes 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 indicarán cuál “liberaba” mayor calor. Los resultados a los primeros 15 minutos sitúan al carbón de la muestra 2 (caulote) como el de mayor calor, seguido del fuego con carbón de la muestra 1 (laurel) y en una tercera posición la de la muestra 3 (patamula). Luego a los 30 minutos de haber encendido las muestras los resultados situaron al carbón de la muestra 3 (patamula) como el que mayor calor soltaba, seguido por el fuego de la muestra 2 (caulote) y en un tercer lugar la muestra 1 (laurel). Para el caso del eucalipto o muestra 3 ya no se realizó esta prueba ya que no se puede hacer arder entre los primeros 15 minutos y en algunos casos ni siquiera en media hora de las pruebas efectuadas.

Las consultas relacionadas a olor del humo y sabor transmitido a los alimentos se tiene que todos coinciden en que ninguno de los carbones de las muestras 1 (laurel), 2 (caulote) y 4 (patamula) no confieren mal sabor a los alimentos asados, a diferencia del carbón de la muestra 3 (eucalipto) el cual despidió humo durante la primera media hora de encendido.

Se midió el tiempo total con brazas, siendo los resultado de 2 horas 15 minutos para el carbón de laurel; 2 horas con 25 minutos de braza en el carbón de caulote y el que más duró con braza prendida sin atizar fue el carbón de patamula con 2 horas con 45 minutos, mostrando una diferencia de media hora de fuego con respecto a Laurel y 20 minutos más que el carbón de Caulote.

Las características físicas de cada clase de carbón no están por separado sino integradas, aportando cualidades especiales que les permiten establecer mejores usos para cada una, 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 comerciantes a las únicas dos propiedades que le ponen importancia es al peso y a la fragilidad, por lo que prefieren adquirir carbones más densos o pesados y menos frágiles a su transporte y manipuleo.

- El carbón producido con las especies de caulote, laurel y patamula fue muy bien aceptados. Sin alguna predilección durante el sondeo, aunque no así para el carbón de Eucalipto el cual fue descartado debido a que tardaba mucho tiempo en lograr hacerlo arder, se necesitaba estar soplándolo para avivarlo para evitar que se apagara la brasa una vez encendido, presento humo durante la primera media hora de encendido en la parrilla y al terminar de consumirse el carbón en su totalidad quedaban restos de carbón sin calcinar. Así se comprueba de nuevo la hipótesis alternativa en donde se afirma que al menos alguno de los tratamientos mostró diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos.
- En las pruebas de combustión el carbón de laurel fue el que menor tiempo de brasa dio con un tiempo de 2 horas con 15 minutos, seguido del caulote con 2 horas 25 minutos y el que más tiempo de brasa demostró fue el carbón de patamula con 2 horas 45 minutos, siendo este preferido por los consumidores ya que resultó ser el más económico para asar carne, debido a que se necesita menos producto para cocinar durante el día.

2.8.6. Rendimiento en volumen de la conversión leña a carbón

En base a los resultados obtenidos en el experimento se observó que aunque los metros cúbicos de leña de laurel y caulote se consiguen a un precio menor que las tareas de eucalipto y patamula, estas dos últimas especies son las preferidas para

hacer carbón ya que producen una conversión leña-carbón mucho mayor que con las primeras, como se muestra en el cuadro numero 12 a continuación:

Cuadro 6. Conversión leña a carbón

Especie	Metro ³ de leña	Sacos de Carbón	Pesos por saco
Laurel	1	6	35 lb
Caulote	1	7	37 lb
Eucalipto	1	9	48 lb
Patamula	1	9	42 lb

Fuente: Propia

Los precios de un metro cubico de leña de laurel o caulote oscilan entren los Q 150.00 y los Q 175.00. Y para las especies de eucalipto o patemula están entre los Q 200.00 y los Q 225.00.

El valor de un saco de carbón el cual se comercializa en costales de brin de 46 kg utilizados por la industria azucarera, posee un valor de Q 50.00 puesto en la finca y llegan a alcanzar un valor entre los Q 65.00 a Q 70.00 puestos en los mercados locales y restaurantes de parrilladas.

La ganancia obtenida por los productores con las diferentes especies forestales se muestra en el cuadro número 7.

Cuadro 7. Ganancia obtenida por metro cubico para cada especie

Especie	Valor del metro cubico de leña	Sacos producidos	Ganancia puesto en finca (50Q/saco)	Ganancia a consumidor final (65Q/saco)
Laurel	Q 175	6	Q 125	Q 215
Caulote	Q 175	7	Q 175	Q 280
Eucalipto	Q 225	9	Q 225	Q 360
Patamula	Q 225	9	Q 225	Q 360

Fuente: Propia

- Con respecto a las preferencias de los productores por determinada especie se comprueba que debido a que las especies de Eucalipto y Patamula representan una conversión leña a carbón mayor que las especies de Laurel y Caulote, estas son preferidas por parte de los carboneros para adquirir y hacer carbón. Obteniendo una mayor cantidad de sacos de carbón producidos con estas especies y por ende una mayor cantidad de ingresos a la hora de la comercialización.

2.8.7. Guía dirigida a productores de carbón de cuatro especies forestales

Cuadro 8. Guía de las propiedades de cuatro especies para la producción de carbón para la producción de carbón vegetal en base a los resultados obtenidos en esta investigación

Espece Forestal	Sacos por metro cubico	Peso por saco en libras	Ganancia puesto en finca en Q	Densidad kg/m ³	Contenido de cenizas en %	Fragilidad en %	Grado de ignición en segundos
Laurel	6 sacos	35 libras	Q 125.00	347.50	92 %	27 %	32 s
Caulote	7 sacos	37 libras	Q 175.00	461.35	74 %	20 %	23.75 s
Eucalipto	9 sacos	48 libras	Q 225.00	530.08	65 %	16 %	885 s
Patamula	9 sacos	42 libras	Q 225.00	513.65	82 %	14 %	37 s

Fuente: Propia

Cuadro 9. Propiedades principales por especie para los productores de la zona

Espece Forestal	Sacos por metro cubico	Ganancia por metro cubico puesto en finca	Densidad Kg/m ³
1) Patamula	9 sacos	Q 225.00	513.65
2) Eucalipto	9 sacos	Q 225.00	530.08
3) Caulote	7 sacos	Q 175.00	461.35
4) Laurel	6 sacos	Q 125.00	347.50

Fuente: Propia

- Se ordenaron las especies forestales ubicando en las primeras filas del cuadro a las que produjeron el carbón con las mejores propiedades deseables para los productores. En relación a la cantidad de sacos y la ganancia obtenida por metro cubico. Siendo estas últimas preferidas por los productores. Y como referencia aunque las 4 especies demostraron estar arriba del rango de densidad para calificar como carbón de calidad según la FAO el cual reporta que deben estar en un rango de 250 a 300 Kg/m³, se puso en la última casilla como propiedad deseable para los productores debido a que esta incide directamente en que los carbones más densos, son más duros, entiéndase menos frágiles para el transporte. Son más pesados lo cual es una característica deseable por parte de los consumidores. Y presentan un mayor contenido de carbono fijo lo que nos indica que será un carbón con mayor poder calórico de combustión.

2.9. CONCLUSIONES

1. En base a las diferentes pruebas realizadas se puede concluir que la especie *Albizia niopoides*, también conocida en la zona como patamula, resulto ser la que mejor propiedades de calidad de carbón obtuvo, con una densidad de 513.65 kg/m³ arriba del rango de 250 a 300 kg/m³ establecido por la FAO para calificar como carbón de buena calidad. Obtuvo un contenido de ceniza del 82% siendo esta una propiedad deseable de parte de los consumidores los cuales desean que el carbón se aproveche en su totalidad y se consuma por completo en sus parrillas. Presentó una fragilidad del 14% siendo esta una propiedad deseable para los comerciantes los cuales desean un carbón menos frágil para evitar el rechazo de su producto luego de ser transportado. Y un grado de ignición de 37 segundos, el cual es una propiedad deseable de los consumidores que desean un carbón fácil de hacerlo arder.

2. Para el sondeo de aceptación se concluye que los consumidores prefieren la especie patamula, debido a su facilidad para hacerlo arder, su baja presencia de humo y su prolongado tiempo de brasa.

3. Se determinó que las especies de eucalipto y patamula producen una mayor conversión de leña a carbón, generando mayores ganancias en su inversión hacia los productores.

4. Con esta investigación se realizó una guía práctica para los productores, describiendo las propiedades físicas de carbón producido para 4 especies forestales.

2.10. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al propietario de la finca San Francisco 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 4 hornos artesanales con capacidad de 3 tareas cada para poder estar en capacidad de quemar 12 tareas semanales de leña, para una producción estimada mensual de 430 sacos de carbón.
2. También se sugiere reforestar 4 manzanas de tierra con la especie patamula (*Albizia niopoides*), capaces de producir un aproximado de 4000 metros cúbicos de leña a un distanciamiento de 2.5 m por 2.5 m y darle un manejo adecuado de rotación para producción de leña en aproximadamente 6-8 años de edad, ya que esta especie fue la que mejor calidad de carbón demostró, tanto en conversión leña a carbón, como en sus propiedades físicas.
3. Se recomienda al INAB como parte de los incentivos forestales, promover y difundir intensivamente los hornos carboneros en regiones con tierras de vocación forestal, permitiendo así a propietarios de fincas con recurso forestal disponible, acceso al conocimiento sobre estas tecnologías.
4. En fincas que no tienen un buen mercado para la 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.
5. Se recomienda comercializar el carbón en presentaciones de 3 a 5 libras al menudeo, ya que si se logra colocar un buen producto en el mercado se pueden obtener ganancias de hasta el doble que el precio en el que actualmente se comercializa el producto.

6. Con respecto al carbón de eucalipto según los estudios realizados en Brasil (5) es apto en la industria de la siderurgia para la fundición de metales, pero en esta investigación se puede concluir que no es apto para comercializar entre los restaurantes y destinarlo a las asaderas, porque aunque presenta buenas propiedades de densidad (alto contenido de carbono) y poca fragilidad para ser transportado, posee muy malas cualidades para la cocción de alimentos, ya que tarda mucho tiempo para lograr ignición, genera humo durante la primera media hora de combustión y no llega a calcinarse totalmente el producto en la parrilla.

2.11. APÉNDICES

2.11.1. Proceso de la producción de carbón vegetal



*Figura 13. Proceso de la Producción de carbón vegetal
Fuente: Propia*

2.11.2. Llenado del horno



*Figura 14. Llenado del horno
Fuente: Propia*

2.11.3. Parrilla inicial y respiraderos del horno



*Figura 15. Parrilla inicial y respiraderos del horno
Fuente: Propia*

2.11.4. Apilada de leña adentro del horno



*Figura 16. Apilada de leña adentro del horno
Fuente: Propia*

2.11.5. Tapado de la leña



*Figura 17. Tapado de la leña
Fuente: Propia*

2.11.6. Cubierta del horno



Figura 18. Cubierta del horno
Fuente: Propia

2.11.7. Chimeneas del horno



Figura 19. Chimeneas del horno
Fuente: Propia

2.11.8. Diferentes colores de humo según el proceso de carbonización



Figura 20. Diferentes colores de humo según el proceso de carbonización
Fuente: Propia

2.11.9. Enfriado del horno



Figura 21. Enfriado del horno
Fuente: Propia

2.11.10. Producto final Carbón vegetal



*Figura 22. Producto final carbón vegetal
Fuente: Propia*

2.12. ANEXOS

BOLETA DE SONDEO DE CUALIDADES DE CUATRO DIFERENTES 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 colocando una " X " para la casilla en que corresponda

1) ¿Qué muestra de carbón presenta mayor cantidad de humo al encender?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

2) ¿Cuál de las muestras sigue soltando humo durante la combustión (5 minutos después del encendido)?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

3) ¿Según su apreciación, qué muestra de carbón prendió más rápido y mejor?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

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

1: SI NO 2: SI NO 3: SI NO 4: SI NO

5) ¿Quince minutos después del encendido y pasando la mano a 30 centímetros de distancia, que carbón suelta más calor?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

- 6) ¿Treinta minutos después del encendido y pasando la mano a 30 centímetros de distancia, que carbón suelta más calor?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

- 7) Ase un pedazo de carne en cada muestra. ¿Alguna de las cuatro muestras dio mal sabor a la carne?

1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____

- 8) ¿Marque con la letra de la muestra, el rango de tiempo que tardó con brazas cada una de las muestras de carbón?

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 _____

2.12.1. Tabla de Tukey

6. Tablas del rango estudentizado (q) de Tukey

Grados de libertad Término del error		k = número de medias								
↓	p (α)	2	3	4	5	6	7	3	9	10
5	.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99
	.01	5.70	6.98	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24
6	.05	3.46	4.34	4.90	5.30	5.63	5.90	6.12	6.32	6.49
	.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10
7	.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16
	.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37
8	.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92
	.01	4.75	5.64	6.20	6.62	6.96	7.24	7.47	7.68	7.86
9	.05	3.20	3.95	4.41	4.76	5.02	5.24	5.43	5.59	5.74
	.01	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.33	7.49
10	.05	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60
	.01	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21
11	.05	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49
	.01	4.39	5.15	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99
12	.05	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.39
	.01	4.32	5.05	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81
13	.05	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32
	.01	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67
14	.05	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25
	.01	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54
15	.05	3.01	3.67	4.08	4.37	4.59	4.78	4.94	5.08	5.20
	.01	4.17	4.84	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44
16	.05	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15
	.01	4.13	4.79	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35
17	.05	2.98	3.63	4.02	4.30	4.52	4.70	4.86	4.99	5.11
	.01	4.10	4.74	5.14	5.43	5.66	5.85	6.01	6.15	6.27
18	.05	2.97	3.61	4.00	4.28	4.49	4.67	4.82	4.96	5.07
	.01	4.07	4.70	5.09	5.38	5.60	5.79	5.94	6.08	6.20
19	.05	2.96	3.59	3.98	4.25	4.47	4.65	4.79	4.92	5.04
	.01	4.05	4.67	5.05	5.33	5.55	5.73	5.89	6.02	6.14
20	.05	2.95	3.58	3.96	4.23	4.45	4.62	4.77	4.90	5.01
	.01	4.02	4.64	5.02	5.29	5.51	5.69	5.84	5.97	6.09
24	.05	2.92	3.53	3.90	4.17	4.37	4.54	4.68	4.81	4.92
	.01	3.96	4.55	4.91	5.17	5.37	5.54	5.69	5.81	5.92
30	.05	2.89	3.49	3.85	4.10	4.30	4.46	4.60	4.72	4.82
	.01	3.89	4.45	4.80	5.05	5.24	5.40	5.54	5.65	5.76
40	.05	2.86	3.44	3.79	4.04	4.23	4.39	4.52	4.63	4.73
	.01	3.82	4.37	4.70	4.93	5.11	5.26	5.39	5.50	5.60
60	.05	2.83	3.40	3.74	3.98	4.16	4.31	4.44	4.55	4.65
	.01	3.76	4.28	4.59	4.82	4.99	5.13	5.25	5.36	5.45
120	.05	2.80	3.36	3.68	3.92	4.10	4.24	4.36	4.47	4.56
	.01	3.70	4.20	4.50	4.71	4.87	5.01	5.12	5.21	5.30
∞	.05	3.31	3.63	3.86	4.03	4.17	4.29	4.39	4.47	2.77
	.01	4.12	4.40	4.60	4.76	4.88	4.99	5.08	5.16	3.64

Figura 23. Tabla de Tukey
Fuente: Montgomery

2.13. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Arias, CT. 2007. Curso de producción de carbón vegetal en hornos de ladrillo. México, CONAFOR (Material del curso para cubrir necesidades de producción a productores). Consultado 10 ago 2013. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/manualhornos.pdf>
- 2) Benitez, JF. 1987. Diagnostico general de la línea B-6 del parcelamiento La Maquina, Cuyotenango, Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 150 p.
- 3) CATIE, CR. 2003. Árboles de Centroamérica. un manual para extensionistas. 2003. Eds. Jesús Cordero y David Boshier. Costa Rica. Consultado 15 jul 2013. Disponible en http://books.google.com.gt/books?id=q0NAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- 4) Cruz S, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
- 5) FAO, IT. 2003. Leña, carbón y carbonización (en línea). Roma. (Italia. FAO DAP/ARG/70/536). Consultado 10 jul 2013. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x5595s/X5595S16.htm>
- 6) Guardado Gómez, MB. 2010. Evaluación de la calidad del carbón vegetal producido en hornos de retorta y hornos metálicos portátiles en El Salvador. Trabajo graduación. . Antigua Cuscatlán, El Salvador, UCA, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 151 p. Consultado 10 oct 2013. Disponible en http://cef.uca.edu.sv/descargables/tesis_descargables/evaluacion_de_la_calidad_del_carbon_vegetal_producido_en_hornos_retorta_y_hornos_metalicos_portatiles_en_El_Salvador.pdf
- 7) Hernández Campos, OA. 1998. Rendimiento y calidad del carbón vegetal producido a partir de cuatro especies forestales de rápido crecimiento (*Eucalyptus saligna* Sm., *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid, *Gmelina arborea* Roxb. y *Casuarina cunninghamiana* Miq. y encino *Quercus peduncularis* Nee). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 86 p.
- 8) MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2001. Sistemas de información geográfica, departamento de Suchitepéquez y Retalhuleu, Guatemala. 1 CD.

- 9) Montgomery, DC. 1999. Diseño y análisis de experimentos. Trad. por Jaime Delgado Saldivar. México, Grupo Editorial Iberoamérica. p. 60-73.
- 10) Sitún Alvizures, M. 2008. Investigación agrícola: guía de estudio. Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala. Escuela Nacional Central de Agricultura. 137 p.
- 11) Villagrán Díaz, EA. 2009. Trabajo de graduación, 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, San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Tesis, Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 117 p.



Rolando Barrías



3.1. PRESENTACION

Durante el año 2013 se realizó el ejercicio profesional supervisado, en la línea A-13 sector SIS, municipio de San José La Máquina, departamento de Suchitepéquez, iniciando en el mes de febrero y finalizando en el mes de noviembre. Periodo de 10 meses el cual inicio con la realización de un diagnóstico del área, evaluando y priorizando problemas, para luego plantear y realizar diferentes servicios con la finalidad de solucionar las problemáticas del área en estudio. Se realizó capacitación a los agricultores en diferentes cultivos tales como, asocio de gandul-ajonjolí y el achiote. Así como también se implementó un vivero forestal.

3.2. OBJETIVO GENERAL

- Colaborar en el parcelamiento de la línea A-13 sector SIS a buscar alternativas a los problemas de los sistemas tradicionales de producción.

3.3. SERVICIOS PRESTADOS EN LA LÍNEA A-13 SECTOR SIS, SAN JOSÉ LA MAQUINA, SUCHITEPEQUÉZ

3.3.1. Elaboración de un vivero forestal

3.3.1.1. Introducción

En la línea A-13 sector SIS la mayor parte de las tierras son dedicadas a la producción de cultivos de granos básicos, explotando algunos suelos no aptos para la agricultura los cuales presentan limitaciones ya sea en su drenaje, compactación, pendiente o erosión. Estos suelos deben dedicarse a la producción de madera de aserrío y leña, productos altamente demandados debido a la alta deforestación del área en estudio. La implementación de árboles en nuestros cultivos ayuda a mejorar el ambiente mediante la fijación de carbono, reducción de temperaturas, liberación de oxígeno, mayor retención de humedad y nutrientes en los suelos.

3.3.1.2. Objetivos Específicos:

- Implementar un vivero de cinco especies forestales que se adapten a las condiciones edafoclimáticas del parcelamiento A-13 sector SIS.

3.3.1.3. Metodología

El vivero forestal se construyó en la finca San Francisco y para ello se contó con la ayuda de los residentes de la línea A-13. A continuación, hacemos mención de la metodología utilizada para construir el vivero (véase Figura 24)

- Las especies seleccionadas para reproducción fueron cedro, matilisguate, eucalipto, teca y melina.
- Se preparó el sustrato a utilizar usando 60% tierra de vega (suelo franco-arenoso) y 40% suelo de la línea (suelo franco-arcilloso).
- Se usó una zaranda de albañilería para cernir y eliminar piedras o basuras del sustrato.
- Se procedió a desinfectar el sustrato con la aplicación de agua hirviendo y ceniza.
- Se levantó una cerca de maya metálica para delimitar y proteger el vivero de animales domésticos.
- Se llenaron aproximadamente 15,000 bolsas.
- Mediante el apoyo de CENGICAÑA con el proyecto de cambio climático a cargo del técnico Selvin Sarat, se nos brindó semilla forestal de melina, teca, eucalipto, matilisguate y cedro, maya metálica, carretas, palas, mangueras, bolsas y pita para montar el vivero.
- En las especies de melina y teca se realizó un tratamiento pre-germinativo consistente en sumergir la semilla (que se nos brindó ya escarificada) durante 24 horas en agua, para luego sembrarlas directamente en las bolsas.

- Para las especies de cedro, eucalipto y matiliguete se realizaron camas de arena previamente desinfectadas en donde germinaron las plántulas y se trasplantaron a las bolsas a los 15 días de nacidas.
- Se procedió a regar el vivero cada 2 o 3 días, dependiendo las lluvias ya que la semilla fue entregada algo tarde y se sembró a principios del mes de junio.
- Se construyó un tapesco de hojas de manaco el cual sirvió como una media sombra para evitar que las plántulas recién emergidas fueran quemadas o deshidratadas por los rayos del sol y el viento. (véase Figura 12)
- Se efectuaron limpiezas manuales cada 15 días de malezas. (Beer, 1993)



*Figura 24. Plántulas emergiendo en el vivero forestal
Fuente: Propia*



*Figura 25. Tapesco de manaco retirado del vivero
Fuente: Propia*

3.3.1.4. Resultados

- En el mes de agosto se repartieron los arbolitos de melina entre los colaboradores del vivero, los cuales ayudaron a cargar el sustrato del río SIS, llenar bolsas y sembrar la semilla.
- En el mes de septiembre se repartieron los arbolitos de teca, matilisguate y cedro dando por terminada la donación de plántulas del vivero.
- Se obtuvo una baja germinación de la semilla de teca (germinando el 40%), resultado de una mala procedencia de la semilla brindada por el proyecto cambio climático de CENGICAÑA.
- La cama de germinación de eucalipto fracasó debido a la mala procedencia de la semilla que, observándose que ninguna semilla llegó a germinar.

3.3.1.5. Conclusiones

Se reprodujeron 5,000 plántulas de melina, 5,000 de teca, 2,000 de matilisguate y 3,000 de cedro, que se distribuyeron dentro de la línea A-13.

3.3.1.6. Recomendaciones

La especie melina fue la más apreciada y solicitada, debido a su rápido crecimiento y corto turno de aprovechamiento (8-10 años) para madera de aserrío. Por lo que se recomienda hacer un vivero con mayor cantidad de plantas de esta especie.

3.3.1.7. Evaluación

En el establecimiento del vivero forestal se presentó una pobre germinación de la semilla de teca y una nula para el eucalipto, debido a una mala procedencia de la calidad de semilla brindada por CENGICAÑA. Por otro lado, se obtuvo una excelente germinación y emergencia de plántulas para las especies de melina, matilisguate y cedro. Observándose los mejores resultados para la especie melina la cual se mantuvo libre de plagas y emergió de manera más rápida y uniforme.

3.4. PARCELA DEMOSTRATIVA DE ASOCIO DE GANDUL Y AJONJOLÍ

3.4.1. Introducción

En la línea A-13 existe un alto grado de pobreza y desnutrición debido a las bajas en las cosechas de maíz y ajonjolí; producto del alto costo de los fertilizantes, suelos degradados, alta incidencia de plagas y enfermedades, y poco asesoramiento en el manejo de los cultivos. Aunque algunos pobladores ya utilizan el grano del gandul criollo también conocido como arveja de árbol en la alimentación, este tarda entre 8 y 10 meses para ser cosechado. Comparado con esta variedad mejorada de porte más bajo que se puede cosechar entre los 3 y 4 meses a partir de sembrada. El gandul mejorado es capaz de ser cultivado en asocio con el ajonjolí sin la necesidad de un manejo exigente y brindando una excelente fuente de proteínas, minerales y vitaminas a la dieta de los agricultores.

3.4.2. Objetivos específicos

- Demostrar las ventajas del asocio gandul y ajonjolí

3.4.3. Metodología

- En el mes de agosto se procedió a citar y capacitar a los agricultores, coincidiendo el asocio del cultivo con la época de siembra del Ajonjolí (10 de agosto).
- La metodología recomendada para el cultivo del gandul fue la siguiente:
- Sembrar de 2 a 3 semillas previamente tratadas con insecticidas post y pre-emergentes como el blindaje.
- El gandul se recomendó sembrar entre las matas de rastrojo de maíz de la cosecha anterior (mayo-julio), alternando entre la matas de la siembra de ajonjolí las cuales se sembraron entre las calles de los surcos de rastrojo. (véase figura 26)

- Se recomendó asperjar herbicidas pre y post emergentes como el glifosato y gesaprin antes de sembrar el gandul y el ajonjolí a manera de tener bien limpio el terreno y brindar un buen medio para el establecimiento de los 2 cultivos.
- Debido a la dificultad para eliminar eventuales brotes de malas hiervas y malezas, producto del arreglo del asocio y el desconocimiento de productos selectivos hacia el ajonjolí y también para el gandul, se recomendaron limpiezas manuales con machete para evitar afectar a alguno de los dos cultivos con el uso de herbicidas.
- Se recomendó cosechar el gandul en ejote o camagua 2 a 3 meses después de sembrado y para cosechar el grano un mes después de haber cosechado el ajonjolí cuando el grano ya está seco y la vaina haya cambiado a de un color verde a un café claro.
- Se repartieron 2 libras de semilla de gandul por agricultor para la siembra de una cuerda de terreno al final de la capacitación.
- Se montó una parcela experimental de media manzana del asocio en la finca San Francisco para que los agricultores tuvieran una vitrina a donde avocarse de la capacitación realizada. (Valenzuela, 2002)



Figura 26. Planta de Gandul
Fuente: Propia

3.4.4. Resultados

- El gandul se asocia de manera exitosa con el cultivo del ajonjolí sin afectar el rendimiento de este cultivo, existen estudios de parte de la ONG semilla nueva, que demuestran que el gandul con su profundo sistema radicular ayuda a romper horizontes duros de suelos compactados, con mal drenaje interno, aumentando el rendimiento de cosechas posteriores en los siguientes años. Además de ser una especie leguminosa que brinda nitrógeno a cultivos asociados por el desprendimiento de nódulos de sus raíces y follaje que cae al suelo, mejorando la fertilidad del suelo y aumentando la producción de los cultivos asociados.

- El gandul resulto ser un cultivo con pocas exigencias de manejo, presentando una buena producción sin necesidad alguna de la incorporación o aplicación de fertilizantes, insecticidas o fungicidas.
- El gandul en estado camagua y en grano fueron aceptados como suplemento en la dieta de los pobladores debido a que ya se conocía el cultivo.
- Los remanentes de rastrojo de gandul son una excelente fuente de forraje en verde, heno o ensilado para el ganado bovino.

3.4.5. Conclusiones

- El gandul asociado con el ajonjolí no afecta el rendimiento del mismo y por ser una especie leguminosa brinda nitrógeno a cultivos asociados por el desprendimiento de nódulos de sus raíces y follaje que cae al suelo, mejorando la fertilidad del suelo y aumentando la producción de los cultivos asociados.

3.4.6. Recomendaciones

- Se observaron mejores resultados donde solo se sembraron 2 semillas debido a la poca competencia entre plántulas por luz, agua y nutrientes; obteniendo un crecimiento más vigoroso, mejor floración y mayor carga de semilla por unidad de planta que en los casos donde se sembraron 3 semillas por postura.

3.4.7. Evaluación

La implementación del cultivo del gandul con el ajonjolí demostró no afectar el rendimiento en la cosecha de grano de la oleaginosa. Pudimos observar de manera visual un mayor crecimiento vegetativo de las plántulas de ajonjolí y una coloración verde más intensa en comparación con las plantaciones que no estaban en asocio a la leguminosa.

3.5. PARCELA DEMOSTRATIVA DEL CULTIVO DE ACHIOTE COMO ALTERNATIVA PARA LA DIVERSIFICACIÓN DE CULTIVOS

3.5.1. Introducción

Aunque en épocas pasadas ya existieron plantaciones de Achiote en la máquina, estas perdieron auge al surgir los colorantes artificiales a costos más bajos. En esta época los colorantes artificiales han sido sacados del mercado debido a que son altamente tóxicos y cancerígenos, es por ello que la producción de colorantes naturales está tomando nuevamente una alta demanda en el mercado. El achiote es un cultivo con un amplio rango de adaptación y el área de la máquina presenta condiciones climáticas y de suelos óptimas para el desarrollo adecuado de este cultivo.

3.5.2. Objetivos específicos

- Capacitar a los productores de la línea A-13 en el manejo agronómico del cultivo de achiote.

3.5.3. Metodología

- Se recomendó recolectar semilla de Achiote de la zona, escogiendo plantas con alta producción y alta tolerancia a la enfermedad mildiu polvoriento presente en la máquina.
- Realizar el llenado de bolsas y el vivero en los meses de enero y febrero ya que las plántulas tardan de 4 a 5 meses para estar listas para ser sembradas en el campo definitivo.
- Se recomendaron las mismas prácticas de manejo utilizadas en el vivero forestal que se implementó en el primer servicio del EPS.
- Para obtener una alta densidad de plantas por manzana se recomienda sembrar a un distanciamiento de 3 metros entre plantas y 3 metros entre calles. (véase figura 27)
- Fertilizar los primeros dos años con abundante materia orgánica para mejorar la estructura del suelo ya que el achiote es sensible a suelos compactados con un drenaje pobre.
- El achiote empieza a ensayar en el segundo año, pero la producción comercial se obtiene a partir del cuarto y quinto año, pudiéndose mantener con buen manejo durante 20 años o más. (Sales, 2009)
- Para mantener rejuvenecida la plantación se recomienda cortar los racimos de frutos cuando ya empiezan a secarse y a mostrar síntomas como cambio de coloración de las capsulas y abertura de las mismas.
- Es indispensable la poda de las plantas para aumentar la carga el año siguiente ya que en cada rama podada existirá un rebrote exuberante.
- Se recomienda hacer muestreos oportunos para proteger la floración y la fructificación de posibles ataques de plagas de insectos.
- Luego de cosechados los racimos de capsulas de achiote se procede a secar durante una semana en un patio de secado para luego proceder a aporrear y guardar el grano para su comercialización.
- Se procedió a realizar la capacitación en la plantación de 1 año y medio de edad ubicada en la finca San Francisco. (CIPREDA, 1990)



*Figura 27. Plantación de Achiote
Fuente: Propia*

3.5.4. Resultados

- El Achiote presenta mejores precios y una alta demanda en el mercado, comparado con los cultivos tradicionalmente cultivados en la máquina. Este cultivo es una buena alternativa para aumentar las ganancias de los productores y también para diversificar los cultivos de la región. Los agricultores ya están familiarizados con el manejo de este cultivo por lo que no fue difícil introducirlo y fue el que más aceptación tubo en las capacitaciones.

- Se obtuvo una buena aceptación por parte de los agricultores los cuales ya estaban familiarizados con matas dispersas de achiote en huertos caseros.
- Los agricultores esta satisfechos con el estado de la plantación, su buena adaptación al área de la máquina y su excelente desarrollo en tan poco tiempo de plantada.
- Existe un gran interés de los capacitados a sembrar pequeñas áreas de achiote el próximo año para ir ensayando con cultivos más rentables y menos exigentes en cuanto manejo de fertilización, fitosanitario, etc.

3.5.5. Conclusiones

- Se capacitaron en el manejo agronómica del achiote a 15 agricultores de la línea A-13, los cuales sembraron un huerto familiar en su parcela.

3.5.6. Recomendaciones

- El cultivo del achiote es una buena alternativa para la diversificación de los cultivos de la línea y una excelente opción para aumentar la rentabilidad y uso de la tierra.

3.5.7. Evaluación

Se observó una excelente adaptación del cultivo a las condiciones edafoclimaticas de la zona, estableciéndose la plantación de manera satisfactoria sin mayor manejo. La plantación de achiote demostró ser resistente al ataque de plagas y a la poca disponibilidad de agua en los periodos de sequía.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Beer, J. (1993). Consideraciones básicas para el establecimiento de especies maderables en linderos. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. (Serie Generación y Transferencia de Tecnología no.1).
- 2) CIPREDA (Centro de Cooperación Internacional para la Pre Inversión Agrícola, GT). 1990. Estudio sobre el cultivo de achiote (*Bixa orellana*) en la zona norte de Guatemala. Guatemala. 85 p.
- 3) Sales, V. 2009. Productores del cultivo de achiote (entrevista). Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz, Guatemala, Comunidad Resurrección Balan, COCODE, Vice Presidencia.
- 4) Valenzuela, H; Smith, J. 2002. Green manure crops: pigeonpea. Hawaii, US, University of Hawaii at Manua. Cooperative Extensive Service. SA-GM-8.



Polando Ramos