



**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
Y DEL AMBIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**COMPARACIÓN DE CALIDAD EN LA
PRODUCCIÓN DE CARBÓN
VEGETAL ENTRE LA FOSA DE
TIERRA Y EL HORNO DE
LADRILLO, EN LA FINCA EL
PLANTEL, TIPITAPA, MASAYA.**

AUTOR:

**Br. Eli Concepción Rodríguez
Malespín**

ASESOR:

Ing. Francisco Reyes, MSc.

**MANAGUA, NICARAGUA
DICIEMBRE, 2011**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

Trabajo de Graduación

COMPARACIÓN DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN
DE CARBÓN VEGETAL ENTRE LA FOSA DE
TIERRA Y EL HORNO DE LADRILLO, EN LA FINCA
EL PLANTEL, MASAYA.

AUTOR

Br. Elí Concepción Rodríguez Malespín

ASESOR

Ing. MSc. Francisco Giovanni Reyes Flores

Managua, Nicaragua
Diciembre del 2011



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

Universidad Nacional Agraria

Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Tribunal Examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Forestal

Dr. Guillermo Castro Marín
Presidente

Ing. Edwin Alonso Serrano
Secretario

Ing. Claudio Calero
Vocal

Managua 6 de Diciembre del año 2011

INDICE DE CONTENIDO

SECCION	PAGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
INDICE DE FOTOS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
SUMMARY	viii
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	3
III. MATERIALES Y METODOS	4
3.1 Descripción del Sitio	4
3.1.1 Suelo	5
3.1.2 Clima	5
3.1.3 Vegetación	5
3.2. Proceso Metodológico	6
3.2.1 Selección del material vegetal para la producción de carbón vegetal	6
3.2.2 Aprovechamiento forestal de la especie de Eucaliptus camaldulensis	6
3.2.3 Medición de árboles tumbados	7
3.2.4 Traslado y medición de trozas y ramas al sitio de carbonización	8
3.3 Diseño de la producción de carbón vegetal	10
3.3.1 Fosa de tierra	10
3.3.2 Horno de ladrillos	11
3.4 Conversión de medidas de kilogramo a volumen métrico del carbón vegetal	12
3.5 Análisis de laboratorio	13

IV. RESULTADOS Y DISCUSION	14
4.1 Calculo de volumen en trozas empleando la formula de Huber y Smalian	14
4.2 Rendimiento del carbón vegetal	16
4.2.1 Fosa de tierra	16
4.3 Horno de ladrillo	18
4.4 Calidad del carbón vegetal.	19
4.5 Recomendaciones para la producción de carbón vegetal en horno de ladrillos	20
V. CONCLUSIONES	21
VI. RECOMENDACIONES	22
VII. LITERATURA CITADA	23
ANEXOS	24

DEDICATORIA

Gracias a Dios por la experiencia, ayuda y sabiduría adquirida en el largo camino de mi existencia.

A mi madre: Maritza del Rosario Malespín Cruz por apoyarme en todos estos años difíciles.

A mis tíos: el Ing. Msc. Gerardo Murillo, la Ing. Agrónoma Donahí Malespín, Eny Laura, a mis abuelos, que siempre me han apoyado y esperado lo mejor de mí.

Elí Concepción Rodríguez Malespín

AGRADECIMIENTO

Al programa de cooperación UNA-SLU/Asdi quienes proporcionaron el financiamiento otorgado para llevar a cabo esta investigación.

Al Ing. MSc. Francisco Reyes Flores, tutor de esta tesis por guiarme en la ejecución y culminación exitosa de esta investigación.

A los profesores filántropos de la Facultad de Recursos Naturales que contribuyeron en mi formación profesional.

INDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Cálculo del volumen de fustes y ramas de la especie <i>Eucaliptus camaldulensis</i> de la categoría de 20 – 30 cm. para la producción de carbón vegetal, utilizando la formula de Huber, en la finca El Plantel, Masaya, 2011.	14
2. Cálculo del volumen de de la fuste especie <i>Eucaliptus camaldulensis</i> , de la categoría de 20 – 30 cm. utilizando la formula de Smalian, finca El Plantel, Masaya, 2011.	14
3. Cálculo del volumen de fustes y ramas de la especie <i>Eucaliptus camaldulensis</i> de la categoría mayor de 30 cm. utilizando la formula de Huber, finca El Plantel, Masaya, 2011.	15
4. Cálculo del volumen de fustes de la especie <i>Eucaliptus camaldulensis</i> , de la categoría mayor de 30 cm. utilizando la formula de Smalian, finca El Plantel, Masaya, 2011.	16
5. Rendimiento de carbón vegetal en el sistema de producción fosa de tierra en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.	17
6. Rendimiento de carbón vegetal en el sistema de producción de horno de ladrillos, en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.	19
7. Análisis de laboratorio de carbón vegetal obtenido en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.	20

INDICE DE FIGURAS

FIGURA

PÁGINA

1. Ubicación de la unidad experimental Finca El Plantel de la Universidad Nacional Agraria, 2011.

4

INDICE DE FOTOS

FOTOS	PÁGINA
1. Selección y marcación de árboles de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	6
2. Tumba de arboles de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> seleccionados en la Finca El Plantel, 2011, (Tala dirigida).	7
3. Medición de diámetros y longitud del fuste limpio de los árboles tumbados de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	7
4. Medición de longitud y diámetro medio de troza de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	8
5. Cubicación de ramas empleando el método de metro cubico estéreo de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	9
6. Diseño de la Fosa de Tierra para la producción de carbón vegetal de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	11
7. Diseño del Horno de Ladrillos para la producción ed carbón vegetal de la especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El Plantel, 2011.	12
8. Pesaje del carbón vegetal.	13
9. Fosa de tierra durante la etapa de carga, Finca el Plantel 2011.	16
10. Horno de ladrillo al finalizar la etapa de carga.	18
11. Especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.	31

INDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO

	25
1. Distribución diamétrica de árboles en pie de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> en la Finca El plantel de acuerdo a la categoría diamétrica, 2011.	
2. Resultados de medición de árboles de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , tumbados en la Finca El Plantel, 2011.	26
3. Consolidación de datos de la categoría diamétrica de 20 a 30 cm utilizando la formula de Smalian en fuste limpio.	27
4. Consolidación de datos de la categoría mayor de 30 cm utilizando la formula de Smalian en fuste limpio.	27
5. Consolidación de datos de la categoría diamétrica de 20 a 30 cm utilizando la formula de Huber (Fuste en trozas).	28
6. Consolidación de datos de la categoría mayor de 30 cm utilizando la formula de Huber (Fuste en trozas).	29
7. Proceso de carbonización de la madera.	30
8. Descripción botánica del <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh	31

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la producción de calidad de carbón vegetal entre la fosa de tierra y el horno de ladrillo utilizando *Eucalyptus camaldulensis*, empleando dos categorías diamétricas. La metodología utilizada consistió en la selección del material vegetal para la producción de carbón, se seleccionaron árboles con diámetros entre 20 - 30 cm. y mayores de 30 cm., por cada categoría diamétrica se emplearon cinco árboles para un total de diez individuos, se tumbaron los árboles con la técnica de tala dirigida, con hacha a partir de 0.30 cm. del suelo con el propósito de aprovechar la mayor cantidad de madera del árbol, se procedió a medir la longitud de la troza en metros empleando una cinta métrica para la medición del diámetro medio. Luego se procedió a calcular el volumen del fuste limpio utilizando la fórmula de Smalian, posteriormente se traslado trozas y ramas al sitio de carbonización, se depositaron por clase diamétrica donde se cálculo el volumen empleando la fórmula de Huber, para la cubicación de las ramas se empleo el método tradicional de metro estéreo. Para la producción de carbón vegetal se emplearon dos diseños de producción: fosa de tierra y el horno de ladrillos, el análisis de laboratorio consistió en determinar porcentaje de cenizas, carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de humedad. Para la clase diamétrica de 20 a 30 cm., se utilizo un volumen de 4.48 m³ y para la categoría diamétrica mayor de 30 cm, 6.55 m³. Finalizado el proceso de carbonización se obtuvieron 8 sacos en la fosa de tierra, equivalente a 0.217 m³, en el horno de ladrillo se obtuvieron 18 sacos lo que representa 0.496 m³. Comparando los estándares de calidad de la FAO, con los obtenidos en este estudio, son aceptables, se concluye que el método de producción de horno de ladrillos usando arboles mayores de 30 cm es el mejor método para la producción de carbón vegetal.

SUMMARY

The present investigation aimed to compare the quality production of charcoal from the pit of earth and brick oven using *Eucalyptus camaldulensis*, using two diametric categories. The methodology consisted in the selection of plant material for charcoal production, we selected trees with diameters ranging from 20 to 30 cm. and over 30 cm., for each diameter category five trees were used for a total of ten individuals, felled trees with directional felling technique, with an ax from 0.30 cm. soil in order to take as much wood from the tree, we proceeded to measure the length of the log in meters using a tape measure to measure the average diameter. Then we proceeded to calculate the volume of clean bole using the Smalian's formula, then were moved logs and branches to the site of carbonization and deposited by diameter class, where volume was calculated using Huber's formula for the scaling of the branches use the traditional method of stereo meters. For the production of charcoal production used two designs: Pit of earth and the brick oven, laboratory analysis was to determine the percentage of ash, organic carbon, bulk density and moisture content. For diameter class of 20 to 30 cm. it used a volume of 4.48 m³ and for category greater than 30 cm diameter it was 6.55 m³. After the carbonization process were collected 8 sacks in the pit of land, equivalent to 0,217 m³, in the brick oven were obtained 18 sacks representing 0,496 m³. Comparing the quality standards of the FAO, with those obtained in this study are acceptable, it is concluded that the method of production of brick oven using trees over 30 cm diameter is the best method for the production of charcoal.

I. INTRODUCCION

La sostenibilidad del bosque no debe medirse por su potencialidad como productor de madera solamente, sino en todas sus funciones intrínsecas como protección del suelo y mantenimiento de la biodiversidad (flora y fauna), de manera que el bosque se transforma en una fuente de empleo donde la misma población siente la necesidad de conservarlo para el futuro como un importante generador de ingresos. El carbón vegetal es un material combustible sólido negro, frágil y poroso con un alto contenido en carbono y quizás el primer material de carbón utilizado por el hombre y su uso data probablemente desde el mismo momento en que comienza a utilizarse el fuego; dado que los trozos de madera carbonizada que quedarían en algunas hogueras pueden considerarse un carbón vegetal rudimentario.

La importancia del carbón vegetal es que constituye una fuente de energía doméstica aplicable a los sectores residenciales, artesanales e industriales, es una fuente de energía alternativa muy importante. En la industria se usa para curar tabaco, cocción de artesanías y alimentos en comedores y restaurantes, en las calderas para la fabricación de cemento. En Nicaragua se produce y consume carbón vegetal tanto a nivel doméstico como a nivel comercial. Para los campesinos del bosque seco de la zona del pacífico de Nicaragua, la producción de carbón es muy importante, de tal forma que los Municipios de Villa el Carmen (Managua), Nagarote (León), Madriz, Estelí, Rivas y Matagalpa son las zonas de mayor producción de carbón en el país. (INAFOR, 2011).

Una forma de aprovechar los recursos forestales con fines de desarrollo, es promoviendo y fomentando la producción de carbón vegetal para el consumo doméstico e industrial. Este tipo de industria tiene ventajas económicas y sociales, porque genera empleo, crea un flujo de dinero del sector urbano al sector rural, se economiza y se obtiene divisas de la exportación de carbón (Reyes, 1990).

El Eucalipto es una especie de rápido crecimiento, de usos múltiples, lo que la hace una especie deseable para su establecimiento. La madera de Eucalipto cuando esta

completamente seca constituye un combustible excelente, produciendo leña y carbón de optima calidad, el carbón de esta madera es catalogado como bueno”, pues arde bien y es duradero, su poder calorífico es de 4,800kcal/Kg (MARENA/INAFOR/MAGFOR, 2002).

En este estudio se pretende hacer una comparación de la calidad del carbón vegetal entre la fosa de tierra y el horno de ladrillos utilizando *Eucalyptus Camaldulensis* Dehnh y se juzgara cuál de estos métodos es el más eficiente, también se desea conocer el rendimiento de la producción y la calidad lo que permitirá un mejor aprovechamiento de la especie.

Según INAFOR (2011), está impulsando la Estrategia Nacional para Leña y Carbón Vegetal que visiona el manejo ordenado del bosque, la reforestación, el mejoramiento de la eficiencia energética y así lograr un uso eficiente de la leña y carbón vegetal, ofrecer al mercado nacional un producto forestal certificado que garantice su origen, calidad y legalidad. Entre sus objetivos están: promover la producción sustentable, la sostenibilidad incentivando la reposición forestal, la investigación y gestión del conocimiento sobre la producción de leña y carbón vegetal y la eficiencia en la transformación energética.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Comparar la producción de calidad de carbón vegetal entre la fosa de tierra y el horno de ladrillo utilizando *Eucalyptus camaldulensis*, empleando dos categorías diámétricas.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el rendimiento de carbón vegetal en los dos sistemas de producción de carbón vegetal de acuerdo a la categoría diamétrica utilizada.
- Evaluar los parámetros de calidad de carbón vegetal; contenido de carbono orgánico, porcentaje de humedad, porcentaje de ceniza y densidad aparente por medio de análisis químico.
- Proponer las recomendaciones necesarias para la producción de carbón vegetal de acuerdo a la categoría diamétrica.
- Determinar el volumen de madera obtenido en las plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* utilizando las fórmulas de Huber y Smalian, al mismo tiempo comparar la precisión de cada fórmula.

3.1.1 Suelo

Los factores formadores del suelo son vulcanismo y tectonismo, el área de la Finca El Plantel, corresponde a una transición entre el bosque tropical moderadamente denso y seco a un bosque tropical sub húmedo. La textura que presentan dichos suelos es diversa entre arenosa a franco, en términos generales se considera que el suelo es bien drenado y con fertilidad aceptable (Somarriba, 1989).

3.1.2 Clima

De acuerdo con la clasificación de Koppen, el clima es tropical de sabana con transición a sub tropical, semi - húmedo. La precipitación varía de 600 mm a 1800 mm al año. Existe una marcada época seca durante seis meses, Noviembre - Abril, durante la época seca el promedio de precipitaciones es de 0 – 3 mm. Los meses de mayor precipitación son Septiembre y Octubre en que hay un promedio de 200 a 250 mm de lluvia. La temperatura mínima media corresponde al mes de Diciembre con valores que varían entre 24.7° C y 25.2° C. La evaporación media anual es de 2044 mm al mes con mayores evaporaciones en abril (Somarriba, 1989).

3.1.3 Vegetación

La Finca El Plantel se ubica en la Región Ecológica I, donde la vegetación y la composición florística de esta región comprende diferentes categorías de vegetación y una gran diversidad de especies y de asociaciones vegetales (Salas, 1993) entre los árboles más comunes de esta Región Ecológica I están tigüilote (*Cordia dentata*), Cornizuelo (*Acacia collinsii*), Guácimo de molenillo (*Luehea speciosa*), Guácimo de ternero (*Guazuma ulmifolia*) entre otros. Actualmente se usa con cultivos de granos básicos como maíz (*Zea mays L.*), sorgo (*Sorghum vulgare Pers*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), además de frutales como cítricos, Limón (*Citrus latifolia*) y Mandarina (*Citrus nobilis*), frutos como mangos (*Manguifera indica*), aguacates (*Persea americana Mill*), (Somarriba, 1989).

3.2 Proceso Metodológico

3.2.1 Selección del material vegetal para la producción de carbón

Después de un recorrido por la plantación de *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel se seleccionaron árboles con diámetros entre 20 - 30 cm y mayores de 30 cm, los cuales se marcaron con cintas de color biodegradables, de distintos colores para diferenciar las clases diámétricas (Foto 1). Por cada categoría diamétrica se seleccionaron cinco árboles para un total de diez individuos que posteriormente fueron extraídos para emplearlo en la producción de carbón vegetal.



Foto 1. Selección y marcación de árboles de *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

3.2.2 Aprovechamiento forestal de la especie de *Eucalyptus camaldulensis*

Posterior a la clasificación del material vegetal, se tumbaron los árboles seleccionados con la técnica de tala dirigida para evitar daños a rebrotes y árboles aledaños en la plantación forestal. La tumba se realizó con hacha a partir de 0.30 m del suelo con el propósito de aprovechar la mayor cantidad de madera del árbol (Foto 2).

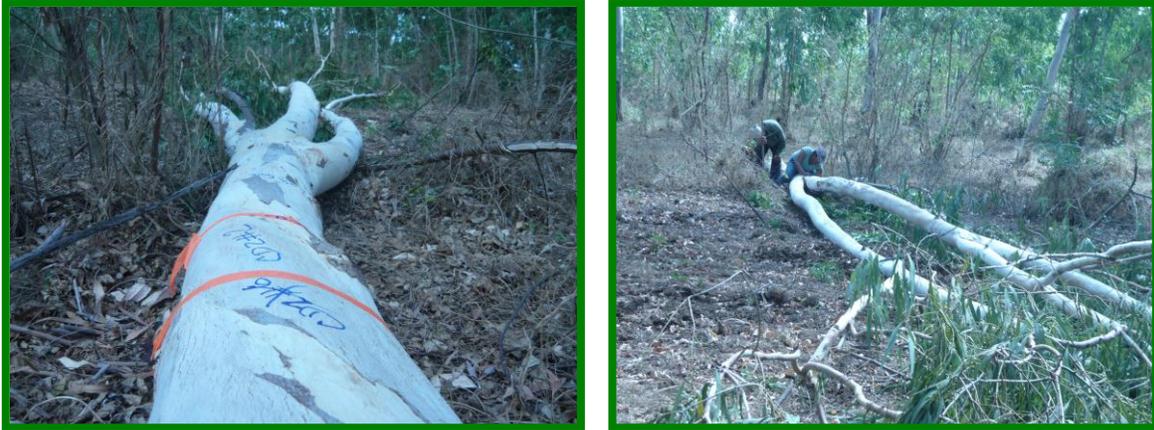


Foto 2. Tumba de arboles de *Eucalyptus camaldulensis*, usando la técnica de tala dirigida en la Finca El Plantel, 2011.

3.2.3 Medición de árboles tumbados

Para la medición de los árboles tumbados se procedió a medir la longitud del fuste en metros empleando una cinta métrica, se considera la longitud del fuste desde la base del árbol hasta la primera rama (Foto 3), utilizando la formula de Smalian. En el mismo fuste se realizó la medición del diámetro medio utilizando la cinta diamétrica el cual se expresa en centímetro, se utilizo la formula de Huber. En cada árbol tumbado se emplearon las dos fórmulas.



Foto3. Medición de diámetros y longitud del fuste limpio de los árboles tumbados de *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

Con los datos recolectados anteriormente, se procedió a calcular el volumen del fuste limpio tumbado, utilizando la fórmula de Smalian (Husch, *et al*, 1982).

$$V = (D \text{ Mayor} + D \text{ Menor})^2 / 16 * 3.1416 * L$$

Donde:

V: Volumen en metros cúbicos (m³)

D Mayor: Diámetro mayor expresado en cm

D Menor: Diámetro menor expresado en cm

L: Longitud de la troza expresado en metros

3.1416: Valor de π

3.2.4 Traslado y medición de fustes y ramas al sitio de carbonización

El traslado de fustes y ramas, obtenido en el proceso de aprovechamiento forestal en la plantación de Eucalipto, se llevó a cabo utilizando un tractor agrícola de la plantación al sitio de carbonización, se depositaron los fustes y ramas de cada árbol y por clase diamétrica (Foto 4).



Foto 4. Medición de longitud y diámetro medio de troza de la especie *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

Una vez ubicados los fustes del aprovechamiento forestal en el área de producción de carbón vegetal, se cálculo el volumen empleando la fórmula de Huber, que consistió en medir cada fuste tomando las medidas de diámetro medio y longitud, (Husch, *et al*, 1982).

$$V = (D \text{ medio})^2 / 4 * 3.1416 * L$$

Donde:

V: Volumen en metros cúbicos (m³)

D medio: Diámetro medio expresado en cm

L: Longitud de la troza expresado en metros

3.1416: Valor de π

Para la cubicación de las ramas de *Eucalyptus camaldulensis* donde se determina su volumen, se empleó el método tradicional de metro estéreo que consiste en medir 1 metro de ancho por 1 metro de largo por 1 metro de alto. (Foto 5). Las ramas deben tener una longitud de un metro para poder utilizar dicha técnica. Se empleó la fórmula para la medición y cubicación de leña.



Foto 5. Cubicación de ramas empleando el método de metro cubico estéreo de la especie *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

$$V = L * A * H * 0.784$$

Donde:

L: Longitud de las ramas expresado en metros

A: Ancho de la pila expresado en metros

H: Altura de la pila de madera expresada en metro

0.784: Constante

3.3 Diseño de la producción de carbón vegetal

Para la producción de carbón vegetal a partir de la especie de *E. camaldulensis* se emplearon dos diseños de producción: fosa de tierra y el horno de ladrillos.

3.3.1 Fosa de tierra

Las dimensiones de la fosa son de 1.10 metros de profundidad y los lados de 2 metros que multiplicados resultan 4,4 m³ en capacidad de volumen. En cada extremo de la fosa, se abrieron los respiraderos para que entre y circule cierta cantidad de aire necesario para iniciar la combustión. Durante la carga se debe tener cuidado de rellenar la mayor cantidad posible de vacíos entre los fustes con ramas de menor grosor para mejorar la eficiencia volumétrica (Foto 6).

Primero se disponen varios fustes en los extremos de la fosa, cada uno de igual longitud como la de la fosa, luego se coloca una cama de ramas hasta llegar a un espesor de aproximadamente 10 cm, seguido se colocan trozas de mayor volumen en sentido opuesto a la cama de ramas y así sucesivamente.

La madera se secó con un mes de anticipación, la carbonización duró un tiempo de 8 horas, iniciando en la tarde y finalizando en la madrugada, se sellaron los respiraderos con piedras y tierra por encima de la fosa y así se practicó por una semana hasta el enfriamiento. Para sacar el carbón se utilizaron palas y rastrillos, teniendo cuidado de no

fracturar el carbón, el procedimiento tardó aproximadamente 3 horas y se depositó en los sacos.

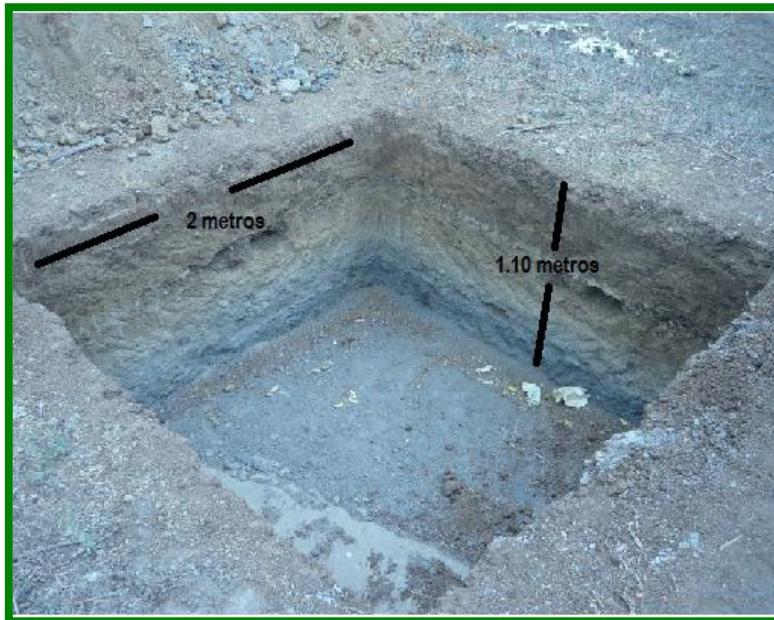


Foto 6. Diseño de la Fosa de Tierra para la producción de carbón vegetal de la especie *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

3.3.2 Horno de ladrillos

La ubicación de este tipo de horno es en un lugar plano y compactado hasta tener un nivel casi plano y que el agua drene fácilmente lejos del horno. Este se construye totalmente de ladrillo con barro, cal y arena.

El horno tiene una puerta ubicada en dirección perpendicular a los viento; En su contorno tiene varias hileras de agujeros pequeños llamados ‘tatus’ que permiten la salida de humo y se van sellando con lodo (Foto 7). Este sistema puede controlar la temperatura mediante el cierre o apertura de los tatus (CEMAPIF– PROCAFOR, 1999), las medidas del horno en la finca son 1.49 metros de ancho por 1.65 metros de largo, la altura es de 2.02 metros, el volumen de madera que alcanza resulta de 4.97 m³.

La madera se ha secado un mes, la carbonización duró un tiempo de 6 horas, iniciando en la tarde, para enfriar el horno se realizaron baños de lodo desde la cima hacia abajo

cada 30 minutos durante una semana, se tomó una hora para sacar el carbón también con palas lo cual fue más fácil debido a que este se presenta limpio.

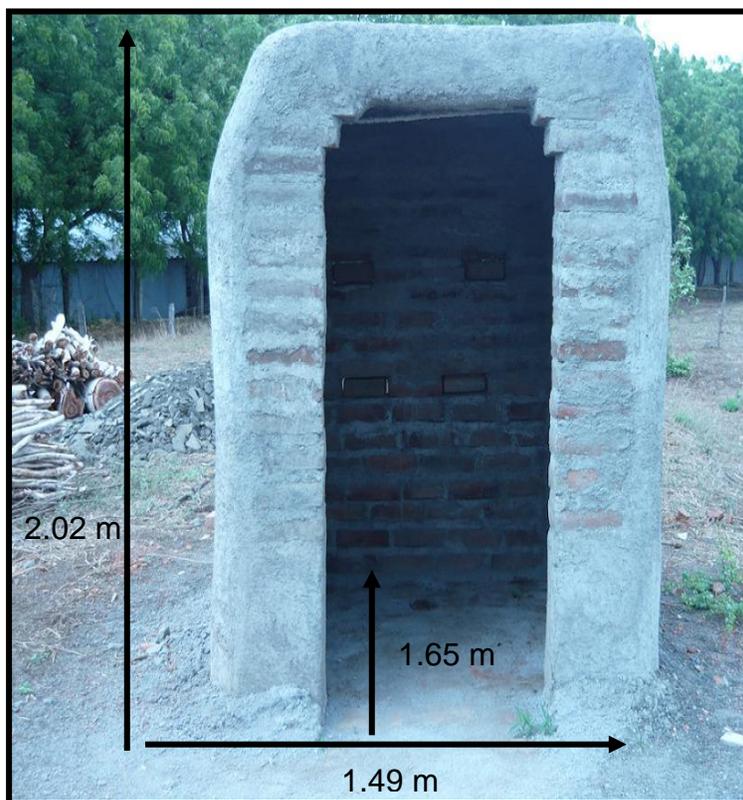


Foto 7. Diseño del Horno de Ladrillos para la producción de carbón vegetal de la especie *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El Plantel, 2011.

3.4. Conversión de medidas de kilogramo a volumen métrico del carbón vegetal

El pesaje se realizó con una pesa digital (Crane Scale) en la cual se colgaron los sacos con el carbón vegetal, obteniendo dicho peso en kilogramos, tanto para el horno de ladrillos como el de la fosa de tierra.

Los valores del peso en kilogramos fueron convertidos a volumen por la fórmula $V = M/D$, partiendo de la densidad media de la madera de Eucalipto que es de 0.591 gr. /cm^3 (MARENA/INAFOR/MAGFOR 2002), de la cual los gramos se convirtieron a kilogramos y los centímetros cúbicos a metros cúbicos para obtener Kg. / m^3 (Husch, et al, 1982).

$$V = M / D$$

Donde:

V = volumen en metros cúbicos

D = densidad en gramos/centímetros cúbicos

M = masa en kilogramos

D = Peso seco / Volumen seco



Foto 8. Pesaje del carbón vegetal

3.5 Análisis de laboratorio

La mayoría de las especificaciones usadas para controlar la calidad del carbón vegetal se han originado en la industria del acero o química. La calidad del carbón puede especificarse y medirse de varias formas, se define según algunas de sus propiedades y si bien todas en cierto modo están interrelacionadas, se miden y se evalúan por separado (FAO, 1983). Para el análisis de laboratorio se seleccionaron al azar muestras de carbón vegetal de los 26 sacos de la producción del horno de ladrillo y de la fosa de tierra, dos bolsas con un peso de dos libras cada una para su análisis en el Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria, con el fin de determinar porcentaje de cenizas, carbono orgánico, densidad aparente y porcentaje de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Cálculo de volumen en trozas empleando la formula de Huber y Smalian

En el cuadro 1, se muestra un resumen del volumen de cada árbol con sus respectivos fustes y ramas de la clase diamétrica de 20 a 30 cm, empleando la fórmula de Huber. La troza obtenida en el campo fue troceada y medida individualmente. En total en dicha categoría se obtuvo 4.25 m³ de madera para la producción de carbón vegetal.

Cuadro 1. Cálculo del volumen de fustes y ramas de *Eucaliptus camaldulensis* de la categoría de 20 – 30 cm, para la producción de carbón vegetal, utilizando la formula de Huber, en la Finca El Plantel, Masaya 2011.

ARBOL	VOLUMEN DE FUSTE (m ³)	VOLUMEN DE RAMAS (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)
1	0.12	0.58	0.70
2	0.15	0.62	0.77
3	0.25	0.76	1.01
4	0.12	0.61	0.73
5	0.14	0.90	1.04
TOTAL	0.78	3.47	4.25

En el cuadro 2 se observa el cálculo de volumen de madera empleando la fórmula de Smalian, en esta medición se toma en cuenta el fuste limpio después de ser tumbado, resultando un volumen de 4.48 m³.

Cuadro 2. Calculo del volumen de fuste de la especie *Eucaliptus camaldulensis*, de la categoría de 20 – 30 cm, utilizando la formula de Smalian, en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.

ARBOL	VOLUMEN DE FUSTE (m ³)	VOLUMEN DE RAMAS (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)
1	0.13	0.58	0.71
2	0.21	0.62	0.83
3	0.30	0.76	1.06
4	0.15	0.61	0.76
5	0.22	0.90	1.12
TOTAL	1.01	3.47	4.48

Al comparar las dos fórmulas se puede concluir que los resultados son similares, la diferencia es mínima y ambas se pueden utilizar.

El cuadro 3 representa el volumen de la categoría diamétrica mayor de 30 cm empleando la fórmula de Huber. Esta categoría alcanzó un volumen de 6.33 m³ para la producción de carbón vegetal.

Cuadro 3. Calculo del volumen de fuste y ramas de *Eucaliptus camaldulensis* de la categoría mayor de 30 cm., utilizando la formula de Huber, en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.

ARBOL	VOLUMEN DE FUSTE (m ³)	VOLUMEN DE RAMAS (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)
1	0.27	1.05	1.32
2	0.22	1.15	1.37
3	0.36	0.98	1.34
4	0.42	0.77	1.19
5	0.34	0.77	1.11
TOTAL	1.61	4.72	6.33

El cuadro 4, representa el volumen de la categoría diamétrica mayor de 30 cm empleando la fórmula de Smalian. La categoría alcanzó un volumen de 6.55 m³ para la producción de carbón vegetal. La suma del volumen de las dos categorías empleando la formula de Huber es 10.58 m³ y utilizando Smalian resulta 11.03 m³, con una diferencia de 0.60 m³. El volumen de ramas es mayor debido a que se aprovechó todo el árbol. La fórmula de Smalian da buenos resultados o da valores precisos para fustes de forma cilíndrica como la del árbol de Eucalipto, también para trozas de diferentes longitudes.

Cuadro 4. Calculo del volumen de fustes de la especie *Eucalyptus camaldulensis*, de la categoría mayor de 30 cm, utilizando la formula de Smalian, en la Finca El Plantel, Masaya, 2011.

ARBOL	VOLUME DE FUSTE (m ³)	VOLUMEN DE RAMAS (m ³)	VOLUMEN TOTAL (m ³)
1	0.30	1.05	1.35
2	0.20	1.15	1.35
3	0.45	0.98	1.43
4	0.48	0.77	1.25
5	0.40	0.77	1.17
TOTAL	1.83	4.72	6.55

4.2 Rendimiento de carbón vegetal

4.2.1 Fosa de tierra

La fosa de tierra, se carga con fustes que miden 1.10 metros a 1.80 metros, que se acomodan fácilmente y transversales a la fosa (Foto 8). Para la carga de la fosa de tierra se emplearon aproximadamente 3 horas debido a que el modo de acomodar las ramas y fustes debía ser uniforme y bien apiladas, la fosa se llenó con un volumen de 3,68 m³ lo que representa el 82,14 % del total que es de 4,48 m³ de la clase diamétrica de 20 a 30 cm.



Foto 9. Fosa de tierra durante la etapa de carga, Finca el Plantel, 2011.

Una vez finalizado el proceso de carbonización se obtuvieron 8 sacos (Cuadro 5), los cuales fueron pesados en kilogramos y convertidos posteriormente a volumen a partir de la densidad media de la madera de Eucalipto que es de 0.591 gr/cm³, luego se convirtió en Kg/m³ y la masa del saco de carbón se dividió por este resultado. El volumen fue de 0.217 m³ que resulta el 5.89 % del volumen de madera que ocupó la fosa de tierra el cual es 3.68 m³.

Cuadro 5. Rendimiento de carbón vegetal en el sistema de producción fosa de tierra, en la Finca El Plantel, 2011

Número de Saco	Peso en kilogramos	Volumen (m ³)
1	15.10	0.025
2	17.48	0.029
3	16.15	0.027
4	17.19	0.029
5	17.91	0.030
6	16.51	0.028
7	14.74	0.025
8	12.95	0.022
Total	128.03	0.217

En un estudio realizado en El Salvador, en la comunidad Las Margaritas, Rosario de Mora, sobre la producción de carbón de *Eucalyptus camaldulensis*, los productores hacen carbón utilizando un horno artesanal rustico empleando métodos tradicionales.

El objetivo de la investigación fue evaluar y documentar el proceso de producción de carbón, se realizaron 4 quemas de árboles provenientes de Sistemas Agroforestales, el diámetro promedio de los árboles fue de 15.1 cm.; la altura promedio fue de 13.6 m, la leña fue cortada con 2 meses de anticipación en trozos de 1.4 m de longitud, la cantidad promedio de leña fue de 4.87 m³ obteniendo 14.6 sacos de carbón (un rendimiento aproximado de 3 sacos por m³), estos sacos son de 46 Kg (Morales, *et al*, 2001).

En el estudio en la finca El Plantel, los rendimientos obtenidos en la fosa de tierra son de 128.03 Kg. de carbón de carbón vegetal, el total de leña utilizada fue de 3,68 m³ y se obtuvieron 8 sacos con un promedio de 16.25 Kg por saco y un rendimiento de 2 sacos

por m³, comparado con el estudio hecho en El Salvador estos rendimientos son menores y no los superan.

4.3 Horno de ladrillos

En el horno de ladrillos se acomodaron fustes con dimensiones de 1.70 a 1.80 metros, procurando que en el medio quedaran los fustes de mayor diámetro, alrededor van los de menor diámetro y utilizando leña para rodearlos, la carga tomo un tiempo de 2 horas, el horno se llenó con un volumen de 2.57 m³ que representa el 51.71 % del total que es de 4.97 m³ de la categoría mayor de 30 cm.



Foto 10. Horno de ladrillo al finalizar la etapa de carga

Una vez finalizado el proceso de carbonización se obtuvieron 18 sacos los cuales fueron pesados en kilogramos y convertido posteriormente a volumen a partir de la densidad media de la madera de Eucalipto. Estos valores superan a los de la fosa de tierra debido a la naturaleza de este sistema donde las temperaturas son difíciles de controlar por lo que el material vegetativo se consumió de forma vertiginosa. Los hornos de ladrillos, construidos y operados correctamente, representan sin duda uno de los métodos más efectivos para la producción de carbón vegetal.

Para los resultados del horno de ladrillo reflejados en el cuadro 6, se hizo el mismo procedimiento para obtener el volumen, el peso del saco de carbón se dividió entre la densidad media de la madera de Eucalipto. El volumen fue de 0.496 m³ que representa el 19.30 % del volumen de madera que ocupó el horno de ladrillo, el cual es de 2.57 m³.

Cuadro 6. Rendimiento de carbón vegetal en el sistema de producción de horno de ladrillos, en la Finca El Plantel, 2011

Número de sacos	Peso en kilogramos	Volumen (m ³)
1	16.71	0.028
2	18.03	0.030
3	17.39	0.030
4	17.23	0.030
5	16.44	0.028
6	16.44	0.028
7	16.39	0.028
8	16.78	0.028
9	15.37	0.026
10	16.15	0.027
11	17.94	0.030
12	14.81	0.025
13	15.10	0.025
14	15.62	0.026
15	15.67	0.026
16	16.85	0.028
17	15.62	0.026
18	16.01	0.027
Total	254.56	0.496

4.4 Calidad del carbón vegetal

En Nicaragua no existen estándares de calidad para las evaluaciones del carbón. Los consumidores de Europa Occidental y de los Estados Unidos identifican la calidad del carbón en términos de propiedades como: facilidad de ignición, ligero sabor ahumado, tamaño de los trozos y duración del tiempo de quema. El carbón obtenido en la Finca El Plantel se le realizaron análisis de laboratorio en: contenido de humedad, densidad aparente, contenido de cenizas y carbón orgánico.

Cuadro 7. Análisis de laboratorio de carbón vegetal obtenido en la Finca El Plantel, 2011.

Sistema de Producción	Porcentaje de Carbono Orgánico	Porcentaje de Cenizas	Densidad Aparente.	Porcentaje de Humedad
Horno de ladrillos	66.2	3.93	0.55	4.97
Fosa de tierra	49	10.9	0.44	7.11

Según la FAO (1983), el producto intermedio ideal, cuando seco, tiene un contenido de carbono fijo de alrededor del 75 %; de cenizas desde 0,5 % al 5 %; y un contenido de humedad del 5 – 10 %. Comparando estos estándares de calidad de la FAO, con los obtenidos en este estudio, el método de producción de horno de ladrillos se acerca a lo expresado en estudios anteriores. Los resultados de la Fosa de tierra, están por debajo del promedio.

4.5. Recomendaciones para la producción de carbón vegetal en horno de ladrillos

- Reparación del horno después de utilizar en cada proceso de carbonización.
- Cementar totalmente con arcilla o barro, para bajar costos de construcción.
- Garantizar el suministro de agua en el horno de ladrillo para la construcción.
- Hacer baños de lodo periódicamente para cubrir el horno con el objetivo de enfriarlo y bajar la temperatura interna.

V. CONCLUSIONES

El mejor método para la producción de carbón vegetal, eficiente desde el punto de vista del rendimiento del carbón y de la humanización del trabajo es el horno de ladrillo utilizando diámetros mayores de 30 cm en la especie de *Eucalyptus camaldulensis*.

Los mejores resultados se obtuvieron con el horno de ladrillos, dichos resultados alcanzan los parámetros de calidad establecidos por la FAO, se consideran aceptables lo que significa que el carbón vegetal obtenido de la clase diamétrica mayor de 30 cm es de mejor calidad.

Independientemente del uso de la fórmula de Huber y Smalian para el cálculo de volumen maderable, en las dos categorías diamétricas se obtuvieron resultados similares, lo cual indica que se puede emplear cualquiera de éstas.

VI. RECOMENDACIONES

Seguir aprovechando las plantaciones ubicadas en la Finca El Plantel para la producción de carbón vegetal de forma sostenida, a través de la planificación y el manejo sostenible del recurso maderero existente de la especie *Eucalyptus camaldulensis* empleando el horno de ladrillos como una técnica eficaz en la producción de carbón vegetal.

VII. LITERATURA CITADA

- CEMAPIF y PROCAFOR (Programa Regional Forestal para Centroamérica) 1999.** Manual Técnico, manejo, aprovechamiento y pequeña industria. Comité Asesor del Programa Regional Forestal para Centroamérica. Managua, Nicaragua. 525 p.
- FAO (Organización Internacional para la alimentación), 1983.** Manual de Fabricación de Carbón Vegetal. Costa Rica, 135 p.
- Husch B.; Miller C.; Beers T. 1982.** Forest mensuration. Third edition. New York, Estados Unidos de Norte America. Jhon Willey & Sons. 402 p.
- INAFOR (Instituto Nacional Forestal), 2011.** Estrategia Nacional de Leña y Carbón Vegetal, del 2011 al 2021. Managua, Nicaragua. 60 p.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales), 1992 - 1996.** Boletín Estadístico Forestal. Managua, Nicaragua. 39 p.
- MARENA/INAFOR/MAGFOR (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Instituto Nacional Forestal, Ministerio Agropecuario Forestal), Junio 2002.** Guía de Especies Forestales de Nicaragua. Primera Edición. Managua, Nicaragua. 316 p.
- Morales, R., Martínez, B., Hernández, O. 2001.** Evaluación y documentación de la producción de carbón de Eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*) plantado en sistemas agroforestales en Rosario de Mora, El Salvador. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad de El Salvador, 121 p.
- Reyes, F.F. 1990.** Análisis comparativo de dos métodos de producción de carbón vegetal; Trabajo de Diploma para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo con Orientación en Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente. Escuela de Ciencias Forestales. Departamento de Aprovechamiento Forestal. Managua, Nicaragua 37 p.
- Somarriba, C.M. 1989.** Planificación Conservacionista de la finca El Plantel, Masaya. (Tesis) Instituto Superior de Ciencias Agrarias ISCA. Managua, Nicaragua. 38 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Distribución diamétrica de árboles en pie de *Eucalyptus camaldulensis* en la Finca El plantel de acuerdo a la 2ª categoría diamétrica, 2011.

Nº Árbol	Nombre Común	Categoría Diamétrica (cm)	Diámetro Normal (cm)
1	Eucalipto	20 – 29.9	24.3
2			24
3			23.1
4			26.1
5			29.1
1		30 – 39.9	30.1
2			30.5
3			33.1
4			30.2
5	35.3		

ANEXO 2. Resultados de medición de árboles de *Eucalyptus camaldulensis*, tumbados en la Finca El Plantel, 2011.

Nº de Árbol	Nombre	Categoría Diamétrica	Longitud de Fuste (m)	Diámetro Mayor (cm.)	Diámetro Medio (cm.)	Diámetro Menor (cm.)
1	Eucalipto	20 - 29.9	2.50	26.2	21.6	23.7
2			4.50	26.8	23.4	21.5
3			4.50	31.3	25.5	25.8
4			2.46	28.7	25.2	26.9
5			2.75	34.3	27.0	29.4
1	Eucalipto	30 – 39.9	5.50	30.5	24.5	23.6
2			2.50	37.0	32.0	23.3
3			6.70	32.7	27.9	25.5
4			6.0	37.8	27.5	25.0
5			4.45	39.2	31.5	27.7

ANEXO 3. Consolidación de datos de la categoría diamétrica de 20 a 30 cm utilizando la formula de Smalian en fuste limpio.

No. de árbol	Numero de fustes	Diámetro Mayor	Diámetro Menor	Longitud	Volumen de Fustes	Volumen de Ramas	Volumen Total (m ³)
1	1	0,262	0,237	2,7	0,132	0,58	0,712
2	1	0,268	0,215	4,5	0,206	0,62	0,826
3	1	0,313	0,258	4,5	0,288	0,76	1,048
4	1	0,287	0,269	2,46	0,149	0,61	0,759
5	1	0,343	0,294	2,75	0,219	0,90	1,119
Total							4,46

ANEXO 4. Consolidación de datos de la categoría mayor de 30 cm utilizando la formula de Smalian en fuste limpio

No. de árbol	Numero de fustes	Diámetro Mayor	Diámetro Menor	Longitud	Volumen de fustes	Volumen de Ramas	Volumen Total (m ³)
1	1	0,305	0,236	5,3	0,305	1,05	1,355
2	1	0,37	0,233	2,8	0,200	1,15	1,350
3	1	0,327	0,255	6,7	0,446	0,98	1,426
4	1	0,378	0,25	6,2	0,480	0,77	1,250
5	1	0,392	0,277	4,45	0,391	0,77	1,161
Total							6,54

ANEXO 5. Consolidación de datos de la categoría diamétrica de 20 a 30 cm
utilizando la formula de Huber (Fuste en trozas)

No. de árbol	Numero de trozas	Diámetro Medio	Longitud	Volumen de Trozas	Volumen de Ramas	Volumen Total (m ³)
1	1	0,232	0,94	0,040	0,58	0,698
	2	0,242	1,71	0,079		
2	1	0,167	1,07	0,023	0,62	0,773
	2	0,214	1,63	0,059		
	3	0,23	1,70	0,071		
3	1	0,291	1,04	0,069	0,76	1,014
	2	0,249	1,64	0,080		
	3	0,282	1,68	0,105		
4	1	0,237	1,40	0,062	0,61	0,731
	2	0,269	1,04	0,059		
5	1	0,289	1,15	0,075	0,90	1,050
	2	0,257	1,44	0,075		
Total						4,27

ANEXO 6. Consolidación de datos de la categoría mayor de 30 cm utilizando la formula de Huber (Fuste en trozas).

Numero de árbol	Numero de trozas	Diámetro Medio	Longitud	Volumen de Trozas	Volumen de Ramas	Volumen Total
1	1	0,245	1,76	0,083	1,05	1,323
	2	0,228	1,72	0,070		
	3	0,294	1,76	0,119		
2	1	0,342	1,01	0,093	1,15	1,379
	2	0,317	1,72	0,136		
3	1	0,31	1,72	0,130	0,98	1,334
	2	0,145	1,39	0,023		
	3	0,278	1,73	0,105		
	4	0,269	1,70	0,097		
4	1	0,242	0,98	0,045	0,77	1,191
	2	0,248	1,71	0,083		
	3	0,271	1,63	0,094		
	4	0,375	1,80	0,119		
5	1	0,303	1,70	0,123	0,77	1,113
	2	0,341	1,70	0,161		
	3	0,271	1,03	0,059		
Total						6,34

ANEXO 7. Proceso de carbonización de la madera

La FAO (1983) ha reconocido a través de formación de carbón en condiciones de laboratorio los siguientes niveles en el proceso de carbonización:

- De 20 a 110°C: La madera absorbe calor mientras es secada liberando vapor de agua.
- De 110 a 270°C: La madera suelta lo último que queda de agua y comienza a descomponerse liberando monóxido de carbono, dióxido de carbono, ácido acético y metanol.
- De 270 a 290°C: Este es el punto donde descomposición exotérmica comienza. Una mezcla de gases y vapores continúan liberándose junto a algo de resina.
- De 290 a 400°C: Mientras la descomposición de la estructura de la madera continua, los vapores comprenden los gases combustibles como dióxido de carbono, hidrogeno y metanol que juntos con agua, ácido acético, metanol, acetona y resina comienzan a predominar mientras la temperatura se eleva.
- De 400 a 500°C: La transformación de la madera a carbón esta prácticamente completa.

ANEXO 8. Descripción botánica del *Eucaliptus camaldulensis* Dehnh

Árbol que alcanza alturas entre 25 y 40 m. y diámetros de 60 cm. hasta 1 m., ocasionalmente mayores. Fuste de base recta y tronco generalmente torcido, copa abierta e irregular. Corteza lisa y color cremoso a blanco o ligeramente grisácea, desprendible en tiras largas. Hojas lanceoladas, pecioladas, delgadas y pendientes, borde liso, glabras, color verde opaco. Inflorescencia en cabezuelas con flores blancas y pequeñas y numerosas. (MARENA, 2002).

Madera con albura de color castaño muy pálido y duramen amarillo rojizo, textura media, grano entrecruzado, superficie medianamente lustrosa, olor y sabor no característicos. Presenta densidad media con una básica de 0.591 gr/cm^3 y anhidra de 0.674 gr/cm^3 . Sus propiedades mecánicas son bajas a medianas clasificando como madera estructural del grupo B; seca al aire a una velocidad lenta con defectos moderados como arqueaduras y curvaturas, duramen durable y difícil de tratar; la albura es moderadamente impregnable con solución preservante, difícil de trabajar tanto con herramientas manuales como con maquinaria debido a la presencia de gomas, grano entrecruzado y relación de contracción.



Foto 11. Especie *Eucaliptus camaldulensis* Dehnh

