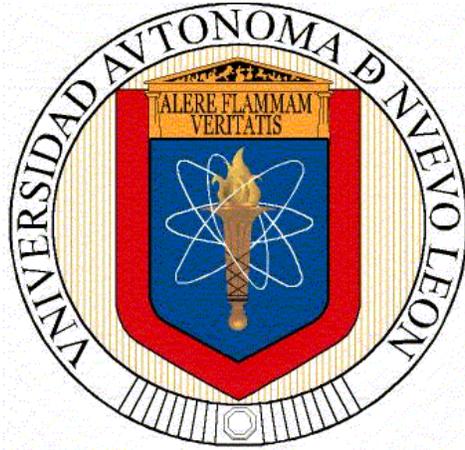


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



EVALUACIÓN DE LA MADERA TORREFACTA DE *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh y *Eucalyptus microtheca* F. Muell.

POR

JONATHAN LAZCANO CORTEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



EVALUACIÓN DE LA MADERA TORREFACTA DE *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *Eucalyptus microtheca* F. Muell.

Por:

JONATHAN LAZCANO CORTEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

LINARES, NUEVO LEÓN

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE LA MADERA TORREFACTA DE *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *Eucalyptus microtheca* F. Muell.

Por:

JONATHAN LAZCANO CORTEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

COMITÉ DE TESIS


Dr. Fortunato Garza Ocañas
Director


Dr. Humberto González Rodríguez
Asesor


Dr. Horacio Villalón Mendoza
Asesor


M.C. Verónica Bustamante García
Asesor Externo

LINARES, NUEVO LEÓN

DICIEMBRE, 2015

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por permitirme concluir mis estudios dentro de los laboratorios de tecnología de la madera y de Química.

A mi esposa Perla Cecilia por todo su apoyo y paciencia en laboratorio y por ayudarme a concluir mis estudios y a la realización de esta investigación.

Al Dr. Artemio Carrillo Parra por su valioso tiempo compartido y consejos, para realizar exitosamente esta investigación.

A los Doctores, Fortunato Garza Ocañas, Humberto González Rodríguez, y la M.C. Verónica Bustamante García por su disposición y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A la Sra. Elsa, a Don Manuel y Alejandro, por todo su apoyo en laboratorio y su buena amistad.

A toda mi familia y amigos por su interés en concluir mis estudios y por todos esos buenos consejos que me brindaron a lo largo de mis estudios. Gracias.

DEDICATORIA

Con mucho cariño para mi esposa

Perla Cecilia y mi hija Aylin Monserrat.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Biomasa como fuente de energía.....	3
2.2. Importancia de las plantaciones forestales.....	4
2.3. Importancia de los eucaliptos en la industria forestal	4
2.4. Los biocombustibles	5
2.5. Propiedades de la biomasa forestal con fines bioenergéticos.....	5
2.6. Composición química de la madera.....	6
2.7. Importancia de la torrefacción en la madera	7
3 HIPÓTESIS.....	8
4 OBJETIVO DEL TRABAJO	8
5.1. Objetivo General	8
5.2. Objetivos Específicos.....	8
5 MATERIALES Y MÉTODOS	9
5.1. Área de estudio.....	9
5.2. Preparación de la muestra	10
5.3. Torrefacción de la muestra	10
5.4. Características químicas.....	10
5.4.1. Contenido de humedad.....	11
5.4.2. Contenido de volátiles	11
5.4.3. Contenido de cenizas	11

5.4.4.	Contenido de carbón fijo	12
5.4.5.	Contenido de extraíbles.....	12
5.4.6.	Contenido de holocelulosa.....	13
5.4.7.	Contenido de lignina	13
5.4.8.	Contenido de CHNS	13
5.4.9.	Poder calorífico	14
5.5.	Análisis de datos	14
6	RESULTADOS	15
6.1.	Características químicas.....	15
6.1.1.	Contenido de humedad.....	15
6.1.2.	Volátiles	16
6.1.3.	Cenizas.....	17
6.1.4.	Carbón fijo	18
6.1.5.	Poder calorífico	19
6.1.6.	Extraíbles	20
6.1.7.	Holocelulosa.....	21
6.1.8.	Lignina	22
6.2.	Contenido de CHNS.....	23
7	DISCUSIÓN.....	24
7.1.	Características químicas.....	24
7.1.1.	Contenido de humedad.....	24
7.1.2.	Volátiles	24
7.1.3.	Cenizas.....	24
7.1.4.	Carbón fijo	25
7.1.5.	Poder Calorífico.....	25

7.1.6.	Extraíbles	25
7.1.7.	Holocelulosa.....	26
7.1.8.	Lignina	26
7.2.	Contenido de CHNS.....	27
8	CONCLUSIONES.....	28
9	BIBLIOGRAFÍA.....	30
10	ANEXOS.....	34
10.1.	ANDEVA para C.H., Volátiles, Cenizas, C. fijo y P.calorífico.	34
10.2.	ANDEVA para Extraíbles.....	35
10.3.	ANDEVA para Holocelulosa.....	36
10.4.	ANDEVA para Lignina	37
10.5.	ANDEVA para CHN´S.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	9
Figura 2. Contenido de humedad (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=54) ± error estándar.	15
Figura 3. Contenido de volátiles (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=54) ± error estándar.	16
Figura 4. Contenido de cenizas (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=54) ± error estándar.	17
Figura 5. Contenido de carbón fijo (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=54) ± error estándar.	18
Figura 6. Contenido de poder calorífico (KJ kg ⁻¹) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=54) ± error estándar.	19
Figura 7. Contenido de extraíbles (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=18) ± error estándar.	20
Figura 8. Contenido de holocelulosa (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=18) ± error estándar.	21
Figura 9. Contenido de lignina (%) de la madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=18) ± error estándar.	22
Figura 10. Contenido de CHNS (%) de madera de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. y <i>E. microtheca</i> F. Cada valor graficado representa la media (n=18) ± error estándar.	23

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la madera torrefacta de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Las muestras de las especies evaluadas se obtuvieron del Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Las trozas se descortezaron y fue molida la madera. Posteriormente, fueron cribadas en una malla del No. 40 (425 μm). La torrefacción se realizó con una mufla a temperatura controlada y en una atmósfera inerte, se trabajó con dos temperaturas 240°C y 280°C, posteriormente se realizaron los análisis inmediatos para determinar el contenido de humedad, volátiles, cenizas y carbón fijo, además se estudió el contenido C, H, N, S, lignina, holocelulosa y se calculó el potencial calorífico. Los resultados obtenidos muestran que el contenido de humedad promedio en ambas especies fue de 9.44% sin tratamiento y con tratamiento (torrefacción) fue de 5.18%. El contenido de cenizas de *E. camaldulensis* fue de 0.29% y el de *E. microtheca* fue de 0.89%; presentando mayor contenido de cenizas en *E. microtheca*. El contenido de carbón presentó un valor mayor para el tratamiento de 280°C con un promedio de 23.3% para ambas especies. El potencial calorífico promedio para ambas especies obtuvo un valor de 17,9075 KJ kg⁻¹ sin tratamiento y con tratamiento mejoró con un valor de 20,419 KJ kg⁻¹. Los resultados del análisis estadístico de la madera de *E. camaldulensis* y *E. microtheca* muestran que, existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en los tratamientos para todas las variables a estudiar excepto por el contenido de holocelulosa y lignina los cuales no presentaron diferencias significativas en los tratamientos. Las especies estudiadas tampoco mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las variables evaluadas.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate torrefacted wood of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Samples of the assessed species were obtained from an Experimental Field Station of the Faculty of Forest Sciences at the Autonomous University of Nuevo Leon. The logs were debarked and wood milled, and subsequently screened on a No. 40 mesh (425 microns). Roasting was performed with a muffle furnace at a controlled temperature and in an inert atmosphere, working with two temperatures 240°C and 280°C, then the immediate analyzes were performed in order to determine the moisture content, volatiles, ash and fixed carbon. In addition, the content of C, H, N, S, lignin and holocellulose calorific was calculated. The results showed that the average moisture content in both species without treatment was 9.44% and the torrefaction treatment was 5.18%. The ash content of *E. camaldulensis* was 0.29% and *E. microtheca* was 0.89%; presenting higher ash content in *E. microtheca*. The carbon content had a higher value for the treatment of 280°C with an average of 23.3% for both species. The average calorific power for both species obtained a KJ value of 17.9075 kg⁻¹ without treatment and with treatment improved with a value of 20.419 KJ kg⁻¹. Results of the statistical analysis for timber of *E. camaldulensis* and *E. microtheca* showed that there are significant differences (p<0.05) in the treatments used for all the variables studied, except for the content of lignin and holocellulose that showed no significant differences between treatments. The species studied showed no significant differences (p>0.05) among studied variables.

1. INTRODUCCIÓN

Desde la firma del Protocolo de Kioto en 1997, los países industrializados tratan de poner en marcha medidas de ahorro, eficiencia y diversificación de energética, así como el fomento de la utilización de los recursos renovables.

Actualmente, se ha promovido el desarrollo de tecnologías aplicadas en la generación de combustibles que provoquen el menor impacto al medio ambiente; debido, a la aceleración del calentamiento global y a la disminución del petróleo en el mundo. La biomasa vegetal se considera una opción eficaz para producir energía renovable y sostenible, debido a que es abundante, relativamente barata y a menudo ampliamente disponible a nivel local (Lee *et al.*, 2012). Sin embargo, tiene algunas desventajas como combustible entre ellas destacan su bajo valor calórico, alto contenido de humedad, alta higroscopicidad y generación de humo (Acharya *et al.*, 2012).

Recientemente, se han retomado los procesos de tecnologías ya conocidas, como: la pirólisis, gasificación y torrefacción. La torrefacción es un pretratamiento térmico de la biomasa que permite mejorar las características físicas, mecánicas y de valorización energética, como el incremento del poder calorífico (Bioenergy International España, 2009). Se considera un método factible para mejora de las propiedades de la biomasa como combustible; el cuál, consiste en un calentamiento lento a una temperatura máxima de 300°C en una atmósfera inerte (Tito-Ferro *et al.*, 2004).

En un proceso e que mantiene el 70% de la biomasa como un producto sólido que contiene aproximadamente el 90% del contenido de energía original. El 30% de la biomasa restante se convierte en gases, ya sean condensables y no

condensables; los cuales, mantienen solo 10% de la energía original (Bergman *et al.*, 2005).

La torrefacción aplicada a la madera causa cambios físicos, químicos, y mecánicos. Las principales ventajas que presenta la madera torrada en comparación con la no tratada es su uniformidad. La magnitud de los cambios está en función de la temperatura empleada. De esta manera, durante la primer etapa del tratamiento el material se deshidrata, posteriormente, se inicia una producción de gas, entre estas dos etapas varias sustancias se eliminan y/o se forman por diferentes reacciones. El resultado es un material con mayor cantidad de energía como resultado del incremento porcentual de moléculas de carbono en la masa restante (Rodrigues, 2009).

Los productos torrados pueden sustituir el carbón mineral en una serie de aplicaciones, también, se puede utilizar como combustible en aplicaciones industriales, ya que al disminuir el contenido de humedad de la madera su calidad como combustible se mejora y el costo de transporte es menor.

2. ANTECEDENTES

2.1. Biomasa como fuente de energía

El término biomasa comprende a las materias hidrocarbonadas, no fósiles en las que mediante el proceso básico de la fotosíntesis se ha producido la fijación y reducción de CO₂ (Jiménez, 1991). La escasez de los combustibles fósiles, la preocupación por su agotamiento, la protección ambiental (CO₂ principalmente) y la dependencia energética de países con escasos recursos energéticos convencionales impulsan el desarrollo de las energías renovables (Romero, 2010).

La biomasa, como material originado en un proceso biológico, puede ser utilizada para producir energía. Los sistemas agrícolas y forestales son grandes productores de biomasa. Una parte de ésta es utilizada para procesos industriales (alimentarios o madereros), mientras que otra parte es considerada como residuo, el cual actualmente no es aprovechado para la generación de bioenergía (Borja, 2006).

La madera, residuos agrícolas y estiércol continúan siendo la fuente principal de energía y, en parte, de materias primas para muchas actividades en países poco industrializados. Sin embargo, en los países industrializados el petróleo y otros combustibles fósiles no sólo constituyen la principal fuente energética sino que también son los sustratos casi exclusivos de la industria química. Por ello, la biomasa, como base material de dicha industria, es también una alternativa potencial a los combustibles fósiles (Romero, 2010).

2.2. Importancia de las plantaciones forestales

La superficie total de plantaciones en el mundo según Martínez *et al.* (2006), alcanza entre 120 y 140 millones de hectáreas. La finalidad de las plantaciones es sobre todo para la producción industrial o para uso doméstico como postes de construcción, leña y forraje.

La decisión de elegir qué especie se va a plantar es del productor, que por lo general elegirá la especie que le provee mayores ganancias; las exóticas o introducidas, ya que en el país no hay programas que apoyen con incentivos económicos las plantaciones de especies nativas, debido a la falta de investigación suficiente que pueda dar un soporte para desarrollar un sistema de aprovechamiento forestal (Jalota *et al.*, 2000).

2.3. Importancia de los eucaliptos en la industria forestal

La importancia del género *Eucalyptus* radica en diversos factores. Se trata de una gran fuente de recursos para la humanidad, ya que las especies se adaptan a prácticamente todos los climas (excepto los extremadamente fríos); tienen la capacidad de producir grandes cantidades de madera en períodos de tiempo relativamente cortos; tienen la capacidad de recuperarse ante la acción negativa del fuego, sequías, plagas, ramoneo, entre otras, gracias a mecanismos defensivos variados propios de las especies; se adaptan a suelos pobres y deteriorados (por erosión o por manejo irracional); se puede utilizar su producción para diversos fines, tales como pasta para celulosa, madera, leñas, etc. (Beale y Clodoveo, 2013).

2.4. Los biocombustibles

Según Salinas y Gasca (2009), se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de la biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal.

Los biocombustibles son aquellos biocarburantes como alcoholes, éteres y otros productos químicos que provienen de compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) extraída de plantas silvestres o de cultivo, que sustituyen en mayor o en menor parte el uso de la gasolina en el transporte o destinados a producir electricidad (Salinas y Gasca, 2009).

2.5. Propiedades de la biomasa forestal con fines bioenergéticos

Las fuentes y productos energéticos se pueden medir por su masa o peso, o incluso su volumen, pero el factor esencial es el contenido de energía de esas fuentes y productos. El valor de la energía se evalúa con respecto a parámetros energéticos, utilizando siempre unidades normalizadas (FAO, 1997).

El contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento (Nogués y Herrer, 2002).

Con biomasa se puede generar energía térmica (agua o aire caliente, vapor, etc.), energía eléctrica e incluso mecánica mediante el uso de biocarburantes en motores de combustión interna.

El empleo energético de la biomasa presenta numerosas ventajas, no sólo para el propietario de la instalación de aprovechamiento, sino también para el conjunto de la sociedad. En el primero de los casos, las ventajas mencionadas son fundamentalmente económicas ya que se disminuye la factura energética al reducir la cantidad de combustibles que se debe adquirir del exterior. En el segundo de los casos, el uso de la biomasa presenta, al igual que ocurre con otras energías renovables, numerosas ventajas medioambientales y socioeconómicas (Nogués y Herrero, 2002).

2.6. Composición química de la madera

La madera es un biopolímero tridimensional cuya composición química general está formada por compuestos esenciales o primarios: holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) y lignina y compuestos extraños o secundarios: extractos (en agua, en solventes, volatilizados en vapor) y no extraíbles (compuestos inorgánicos, proteínas y sustancias pécticas). La celulosa está formada por celobiosa, es blanca, inodora e insípida y es la materia prima principal para la fabricación de pastas de disolución y paneles para construcción. Las hemicelulosas son carbohidratos no celulósicos de bajo peso molecular que ayudan en los procesos de refinación de fibras debido a que son moléculas más reactivas y se hidratan más fácilmente (Gutiérrez *et al.*, 1998).

En composición media la madera se compone de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el 2% de resto de nitrógeno (N) y otros elementos. Todo esto se constituye formando la celulosa y la lignina. La

celulosa: Un polisacárido estructural formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales (Paz, 2008).

Otro factor importante del contenido de energía del biocombustible es el contenido de cenizas, que se mide siempre con referencia al producto en seco y se refiere al residuo sólido que persiste tras una combustión total. Si bien el contenido de ceniza de la leña es generalmente del 1%, algunos combustibles de origen agrícola pueden tener un contenido de ceniza muy elevado. Esto influye en el valor energético de los biocombustibles, dado que las sustancias que forman las cenizas no tienen, por lo general, valor energético (FAO, 1997).

2.7. Importancia de la torrefacción en la madera

Los productos de la biomasa torrados se caracterizan al determinar la composición elemental, poder calorífico, contenido de humedad, contenido de cenizas y la fracción volátil. También analizaron los gases condensados y no condensados. Estos autores señalaron que el tipo de biomasa influye en la calidad del producto. Mencionan también que la biomasa torrefacta tiene propiedades hidrofóbicas y un valor calorífico superior a la materia prima (Tito-Ferro *et al.*, 2004).

3 HIPÓTESIS

Existen diferencias en las propiedades energéticas y fisicoquímicas de la madera de dos especies de *Eucalyptus* con el pretratamiento de torrefacción y sin torrefacción.

4 OBJETIVO DEL TRABAJO

5.1. Objetivo General

Evaluar la madera torrefacta de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Muell.

5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características químicas de la madera torrefacta de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Muell.
- Determinar el contenido de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre de la madera torrefacta de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Muell.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

Las muestras de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Muell. fueron obtenidas en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el cual, se localiza (Figura 1) en las coordenadas N 24° 47'; O 99° 32', cuenta con una elevación de 370 msnm. El tipo de suelo es Vertisol. La vegetación que predomina es matorral espinoso tamaulipeco, el clima es semiseco, la temperatura media varía de 14°C en enero a 22°C en agosto y la precipitación anual promedio es de 805 mm (SPP-INEGI, 1986).

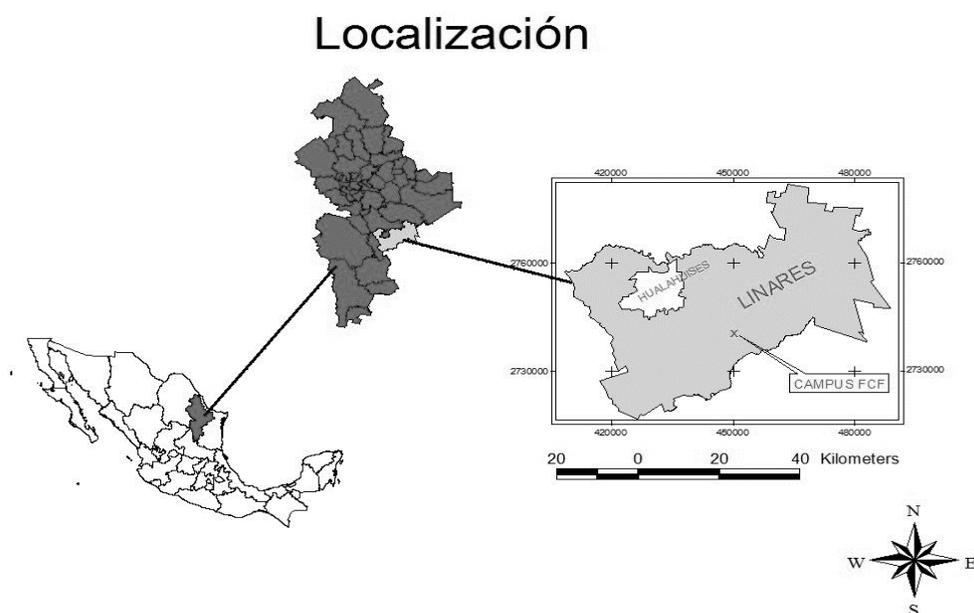


Figura 1. Localización del área de estudio.

5.2. Preparación de la muestra

Para la obtención de las muestras de madera, se seleccionaron tres árboles por cada especie y se cortaron, de cada árbol se seleccionó la zona para el estudio, parte baja (0.3 m). De cada uno de los árboles se tomó una rodaja de madera para realizar el estudio. Cada rodaja de la madera de las especies evaluadas fue astillada con un martillo y formón, después, se trituró con un molino marca Thomas Scientific (modelo 4 Miley) y se cribó utilizando un tamiz de malla No. 40. El aserrín se colectó y almacenó en botes de plástico para evitar que absorban humedad.

5.3. Torrefacción de la muestra

El sistema de torrefacción se compone fundamentalmente de un reactor a temperatura controlada y una fuente de nitrógeno para asegurar una atmósfera inerte dentro del reactor. Durante el proceso, se colocaron 9 g de muestra y se elevó la temperatura a 240 y 280°C a una velocidad de calentamiento de $\sim 25^{\circ}\text{C min}^{-1}$, por un tiempo de residencia de 30 min. Las muestras de cada especie se colocaron en una mufla. Durante el proceso, la mufla se encontró en un ambiente libre de oxígeno mediante flujo continuo de nitrógeno aproximadamente 5.0 L min^{-1} .

5.4. Características químicas

Se determinó el contenido de humedad (%), volátiles (%), cenizas (%) y carbón fijo (%) de ambos tipos de material de ambas especies acuerdo a la norma internacional ASTM. D 1762-84.

5.4.1. Contenido de humedad

Se colocaron crisoles en la mufla a 750°C durante 10 minutos. En el desecador se dejó enfriar los crisoles para obtener su peso inicial. El contenido de humedad se determinó al colocar 1.0 g de la muestra en los crisoles; después se colocaron los crisoles con la muestra en la estufa de secado a una temperatura de 105°C durante tres horas, posteriormente se dejan enfriar los crisoles para obtener el peso.

5.4.2. Contenido de volátiles

Los compuestos volátiles se determinaron al colocar los crisoles con la muestra en la mufla a una temperatura de 950°C durante 11 minutos. El proceso en la mufla consistió en colocar los crisoles dos minutos en la tapa, tres minutos en la entrada y seis minutos dentro de la mufla para evitar que los volátiles se desprendan rápidamente en la mufla.

5.4.3. Contenido de cenizas

Para determinar el contenido de cenizas, se colocó los crisoles en la mufla a 750°C durante 7 horas. Los crisoles se enfrían y se pesan.

5.4.4. Contenido de carbón fijo

El contenido de carbón fijo se determinó por diferencia en porcentaje del contenido de humedad, contenido de cenizas y contenido de material volátil, mediante la siguiente fórmula:

$$CF=100-(CH+MV+CC)$$

Donde:

CH= Contenido de humedad (%)

MV= Material volátil (%)

CC= Contenido de cenizas (%)

5.4.5. Contenido de extraíbles

El porcentaje de extractos (%) se determinó a partir de la harina de madera tamizada a malla 40. La harina se colocó en un dedal de extracción en un extractor Soxhlet con solventes de polaridad creciente: ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente, bajo reflujo durante un tiempo de extracción de seis horas en todos los casos. Los solventes fueron destilados a vacío en un rotavapor y los extractos acuosos serán pesados (Holmbom, 1999). La harina libre de extractos se utilizó para el análisis de holocelulosa y lignina.

5.4.6. Contenido de holocelulosa

El contenido de holocelulosa (%) se determinó por diferencia de extractos obtenidos y lignina.

5.4.7. Contenido de lignina

El contenido de la lignina en la madera se determinó a partir de la harina “libre de extractos” siguiendo la técnica de Runkel Wilke (1995) en la cual a la harina de madera se la adicionó H_2SO_4 al 72% más HBr al 40%, posteriormente se filtró a vacío enjuagando con agua. El material se colocó en una estufa a temperatura de $65\pm 5^\circ C$.

5.4.8. Contenido de CHNS

Para determinar el contenido de Carbono, Hidrógeno, Nitrógeno y Azufre, se utilizó el analizador de CHNS/O Analyzer, 2400 serial II, marca Perkin Elmer.

5.4.9. Poder calorífico

El poder calorífico de ambos tipos de material de cada especie se determinó al aplicar la fórmula descrita por Cordero *et al.* (2001).

$$\text{HHV} = 354.3 (\text{FC}) + 170.8 (\text{VM})$$

Donde:

HHV= Poder calorífico (KJ/kg)

FC= Carbón fijo

VM = Contenido de volátiles (%)

5.5. Análisis de datos

Los resultados de los análisis inmediatos se trabajaron estadísticamente como un diseño factorial 2*3, siendo los factores las especies (*E. camaldulensis* y *E. microtheca*) y los tratamientos (Sin tratamiento, temperatura a 240°C y temperatura a 280°C), con tres repeticiones por tratamiento. Para proceder a realizar un análisis de varianza, los resultados en porcentaje se transformaron con la raíz cuadrada del arcoseno de x (Castillo, 2003). Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el uso del paquete estadístico SPSS, versión 22 liberada para Windows.

6 RESULTADOS

6.1. Características químicas

6.1.1. Contenido de humedad

El Anexo 1 presenta un resumen del análisis de varianza (ANDEVA) para el valor de contenido de humedad de la madera para los tratamientos y de las especies *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus microtheca*. El valor de significancia calculado (Valor -p), tanto en especie como en la interacción, es mayor a 0.05, por lo que indica que no existen diferencias significativas. Sin embargo, el valor de significancia calculado (Valor -p) para los tratamientos, es menor a (0.05) por lo que indica que existen diferencias significativas. En la **Figura 2** se presentan los resultados del contenido de humedad para las especies estudiadas y sus tratamientos.

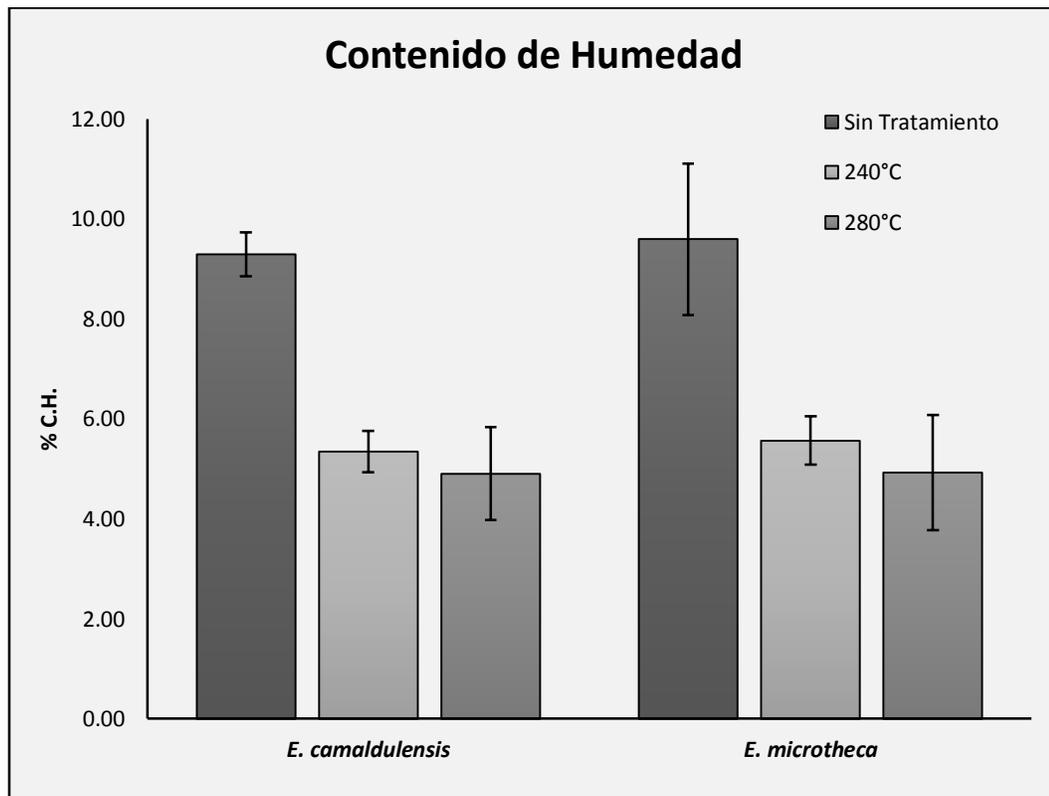


Figura 2. Contenido de humedad (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media (n=54) \pm error estándar.

6.1.2. Volátiles

El contenido de volátiles no presentó diferencias entre especies ni en la interacción especie-tratamiento, ver Anexo 1, sin embargo presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p < 0.05$).

El porcentaje promedio de volátiles de la especie de *E. camaldulensis* sin tratamiento fue de $74.4 \pm 3.4\%$ y *E. microtheca* sin tratamiento fue de $73.6 \pm 3.5\%$. Los valores se muestran en la **Figura 3**.

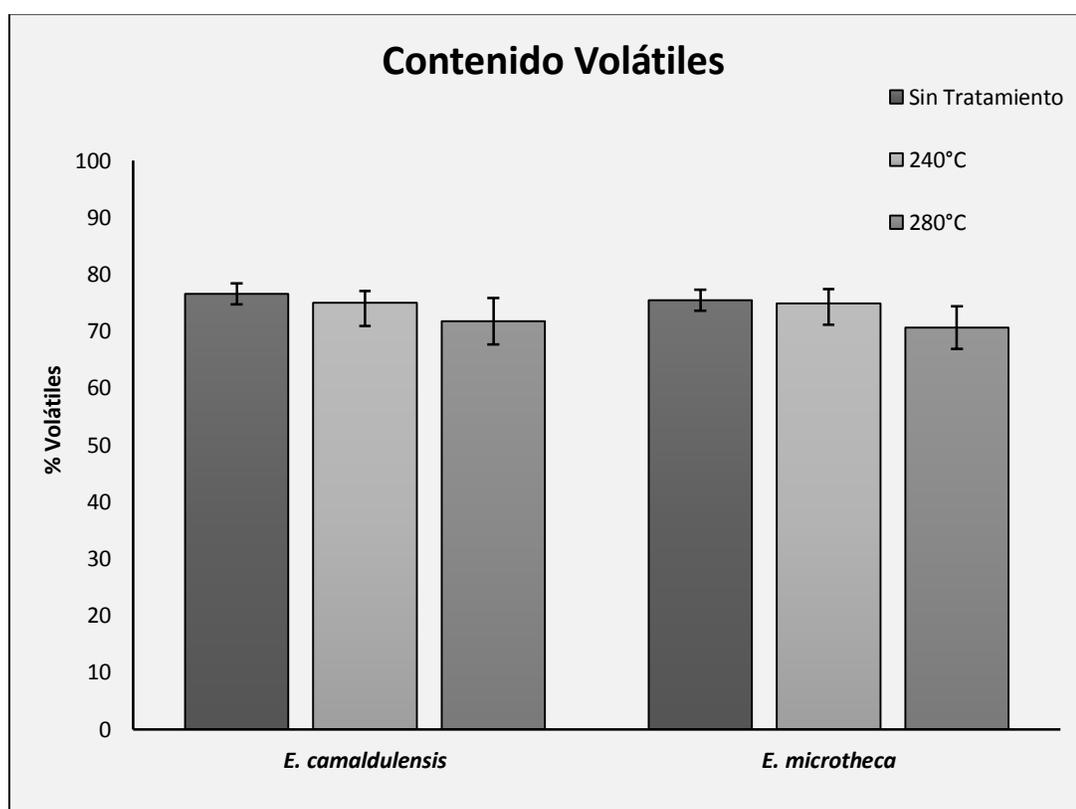


Figura 3. Contenido de volátiles (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media ($n=54$) \pm error estándar.

6.1.3. Cenizas

El contenido de cenizas (%) presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las especies *E. camaldulensis* y *E. microtheca* así como para los tratamientos, y no presentó diferencias estadísticas para la interacción ($p > 0.05$); ver Anexo 1.

El porcentaje de ceniza de *E. camaldulensis* fue de $0.29 \pm 0.09\%$ y el de *E. microtheca* fue de $0.89 \pm 0.27\%$ (**Figura 4**); sin embargo, se puede observar mayor contenido de cenizas de *E. microtheca*.

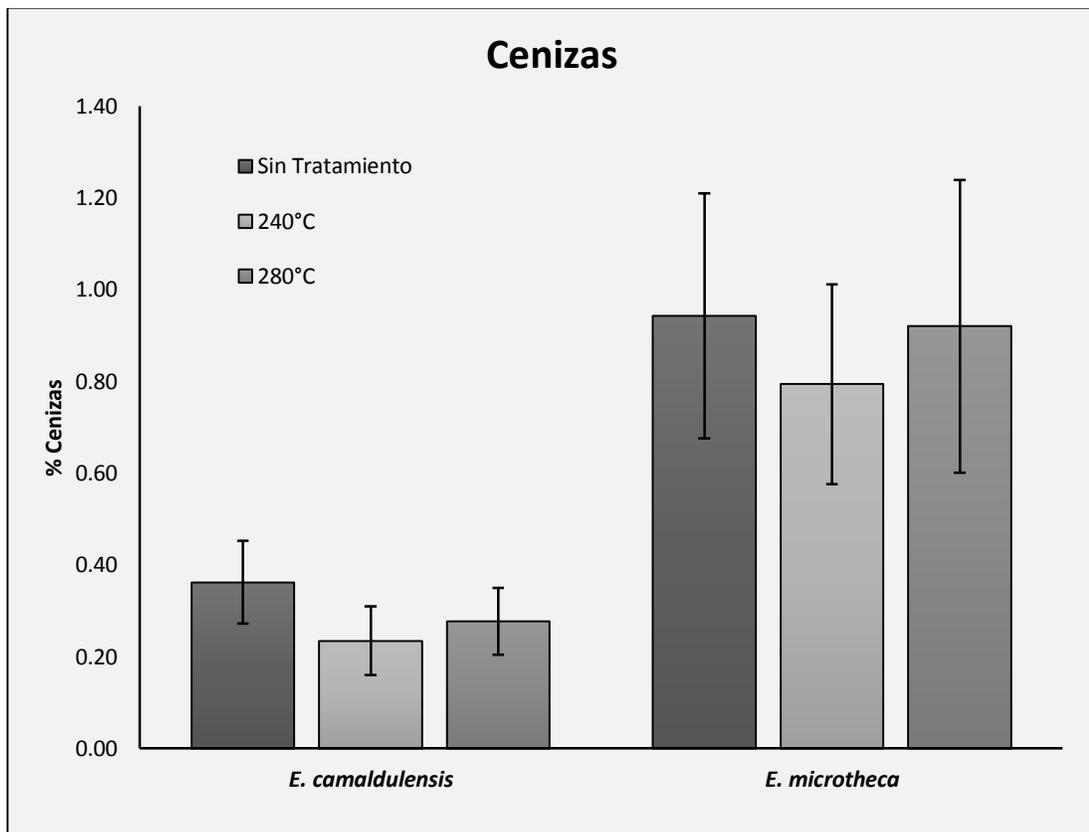


Figura 4. Contenido de cenizas (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media ($n=54$) \pm error estándar.

6.1.4. Carbón fijo

El contenido de carbón fijo (%) no presentó diferencias estadísticas entre las especies *E. camaldulensis* y *E. microtheca* ni entre la interacción especie-zona ($p>0.05$), sin embargo, se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($p<0.05$); ver Anexo 1.

El mayor porcentaje del carbón fijo para *E. camaldulensis* fue en el tratamiento de 280°C con un valor de $23.1 \pm 4.9\%$, similar para *E. microtheca* en el tratamiento de 280°C el cual fue de $23.6 \pm 4.5\%$, los valores se muestran en la **Figura 5**.

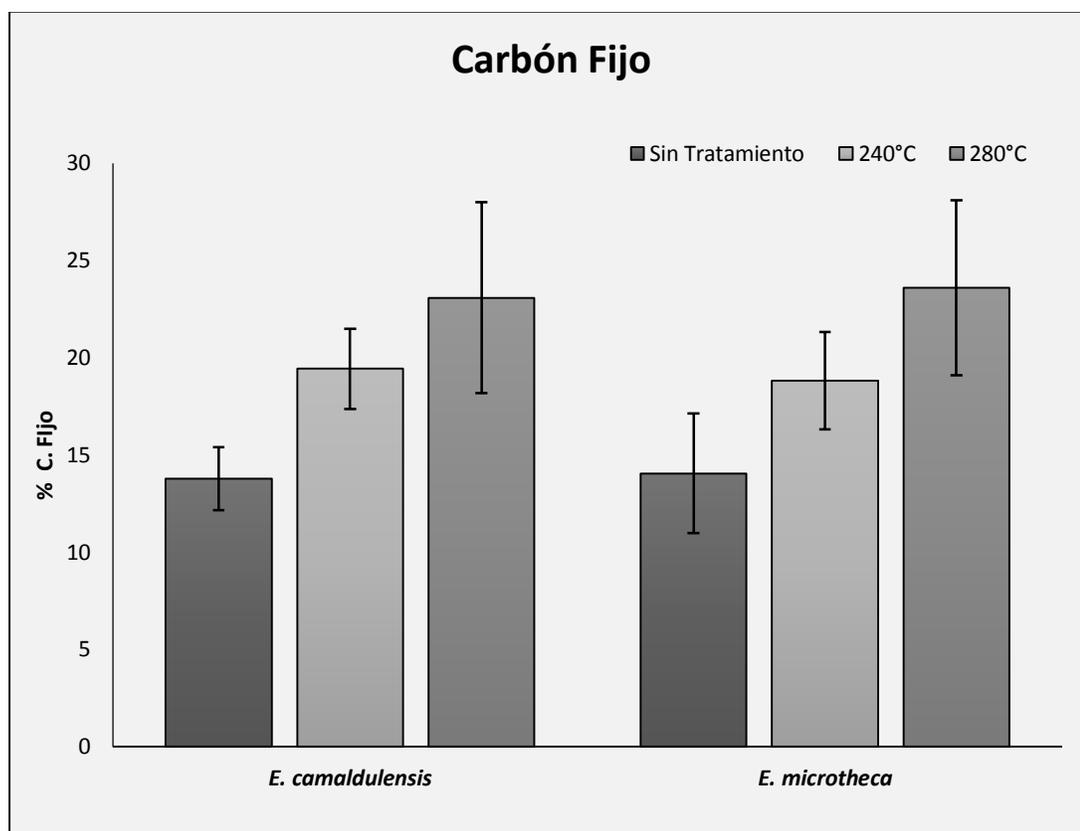


Figura 5. Contenido de carbón fijo (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media ($n=54$) \pm error estándar.

6.1.5. Poder calorífico

El poder calorífico no presentó diferencias estadísticas entre especies tampoco para la interacción especie-tratamiento ($p>0.05$), solo presentó diferencias estadísticas para los tratamientos; ver Anexo 1.

El poder calorífico mayor de *E. camaldulensis* fue para el tratamiento de 280°C con un valor de $20,429 \pm 10.5 \text{ KJ kg}^{-1}$ y el de *E. microtheca* respectivamente fue de $20,410 \pm 965.6 \text{ KJ kg}^{-1}$, lo cual se puede apreciar en la **Figura 6**.

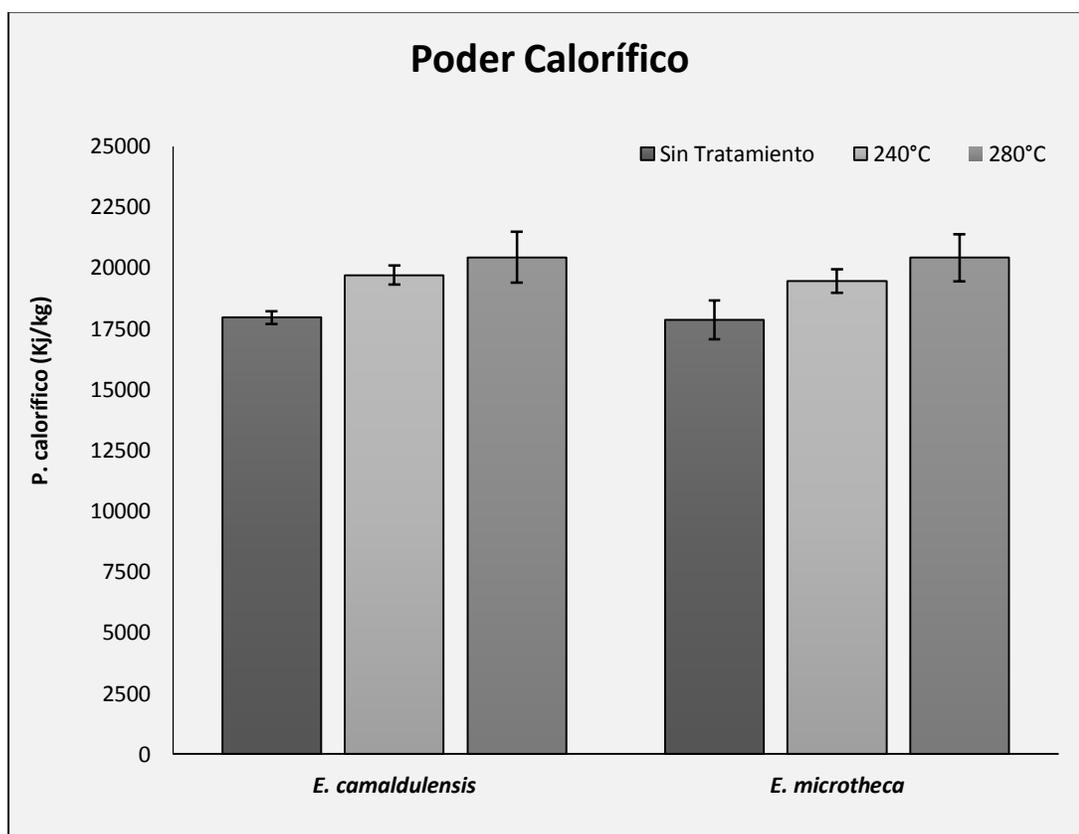


Figura 6. Contenido de poder calorífico (KJ kg^{-1}) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media ($n=54$) \pm error estándar.

6.1.6. Extraíbles

La extracción se obtuvo por extracción sucesiva con solventes orgánicos y agua. El valor de significancia calculado (valor-p) para especies y sus interacciones muestra que el valor es mayor a 0.05, por lo que no existen diferencias significativas. Sin embargo, para los tratamientos el valor de significancia calculado (valor-p) fue menor por lo que se detectan diferencias significativas. La gráfica ilustra los valores medios del porcentaje de extraíbles. Los resultados se observan en la **Figura 7**.

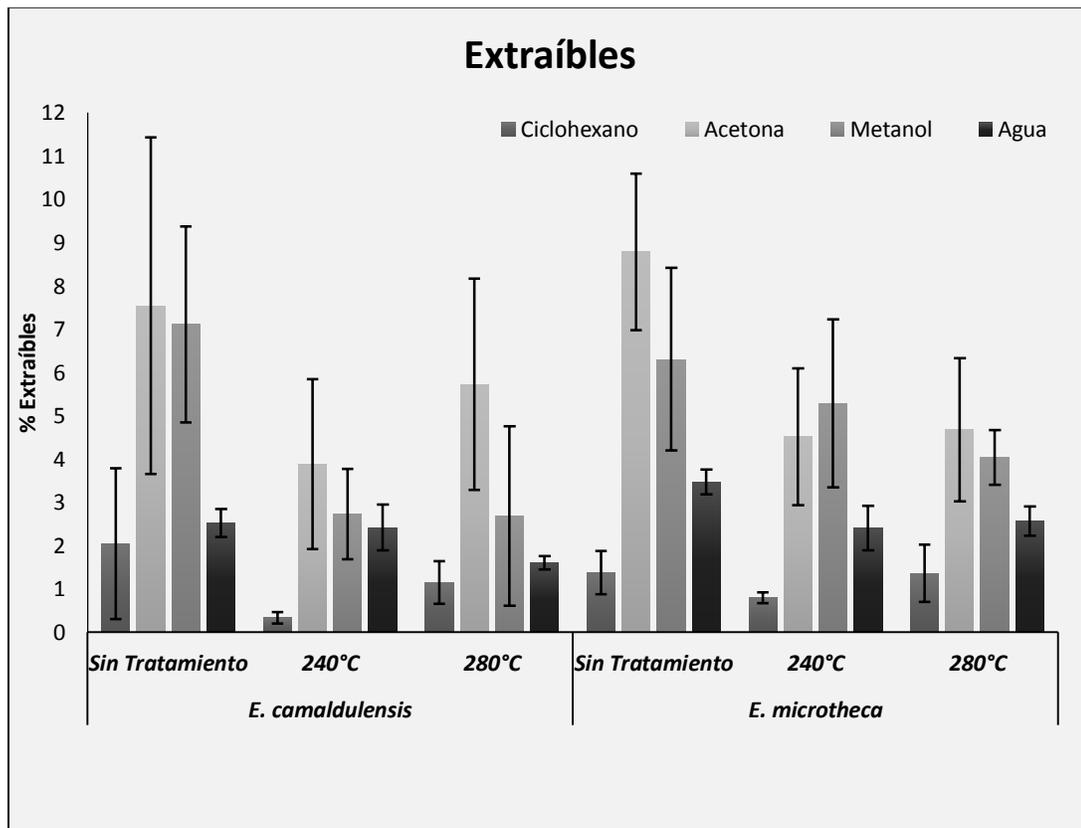


Figura 7. Contenido de extraíbles (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media (n=18) \pm error estándar.

6.1.7. Holocelulosa

El análisis de varianza para el valor del contenido de holocelulosa se determinó por diferencia de extractos obtenidos y lignina, de los diferentes tratamientos, y de las especies *E. camaldulensis*, y *E. microtheca* se muestra en el Anexo 3. El valor de significancia calculado (Valor-p) para ambos efectos y sus interacciones, es mayor a 0.05, por lo que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos y especies. El la **Figura 8** se muestran los resultados que se obtuvieron.

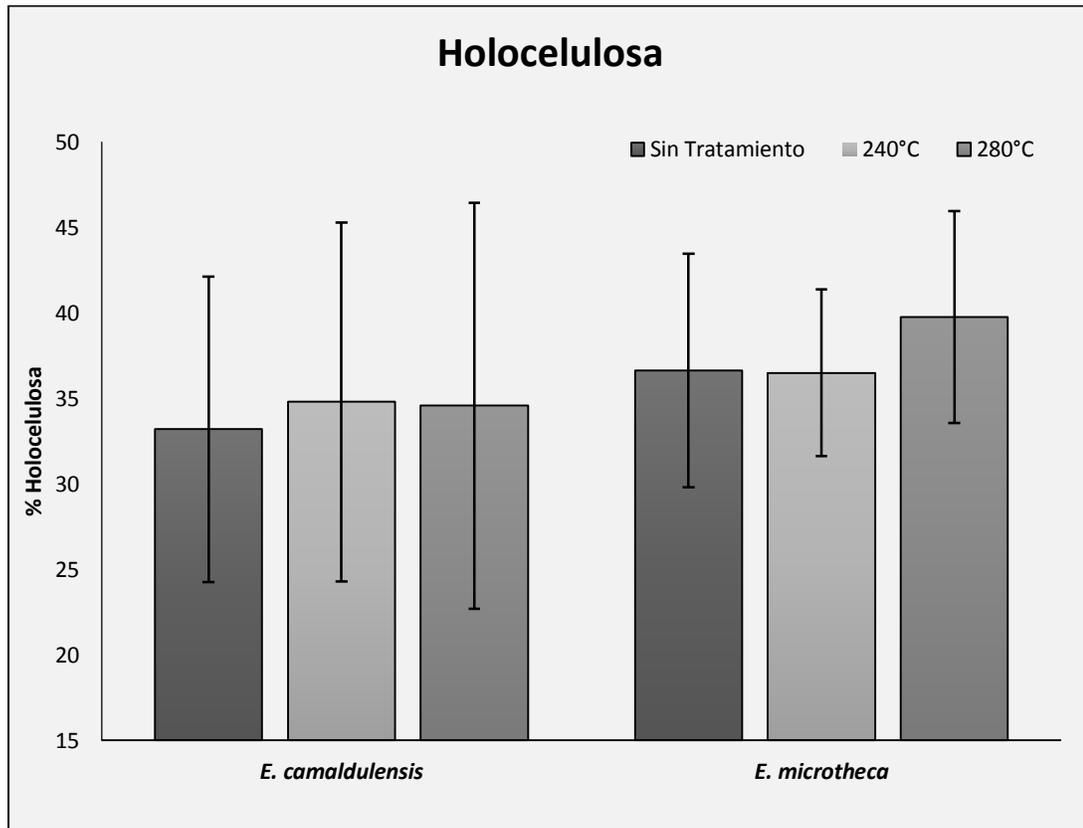


Figura 8. Contenido de holocelulosa (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media (n=18) \pm error estándar.

6.1.8. Lignina

En el Anexo 4 se muestra el análisis de varianza para el valor del contenido de lignina de los diferentes tratamientos, y de las especies *E. camaldulensis*, y *E. microtheca*. El valor indica que la significancia calculada (valor-p) para ambos efectos y sus interacciones, tanto de especie como de zona es mayor a 0.05 por lo que no existen diferencias entre tratamientos y especies al igual que la interacción especie*tratamiento. La **Figura 9** indica dichos resultados.

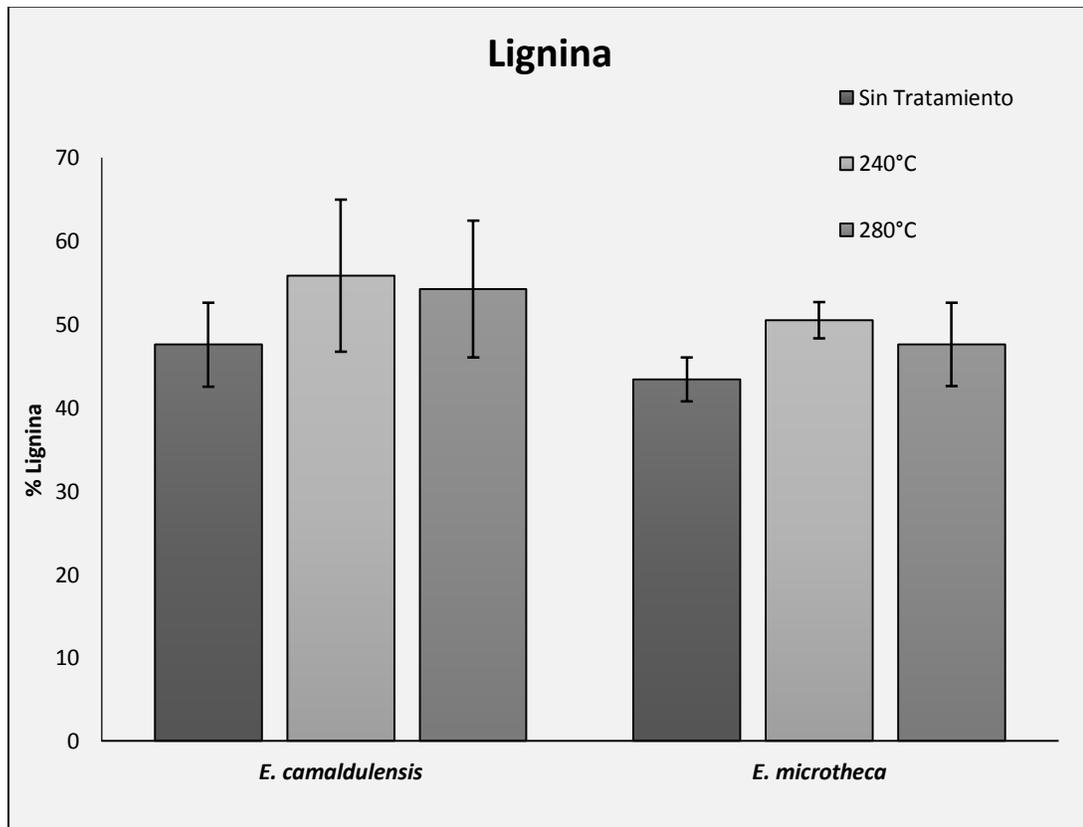


Figura 9. Contenido de lignina (%) de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media (n=18) \pm error estándar.

6.2. Contenido de CHNS

El análisis de varianza (ANDEVA) de los diferentes elementos (CHNS), se muestra en el Anexo 5. El valor de significancia calculado (Valor-p) para ambos efectos y sus interacciones, es mayor a 0.05, por lo que no existen diferencias estadísticas entre los diferentes elementos a excepto por el N el cual si mostró diferencias estadísticas en las especies. Para los tratamientos, los elementos que obtuvieron diferencias estadísticas fueron el N y el C. En la **Figura 10** se muestran los resultados que se obtuvieron.

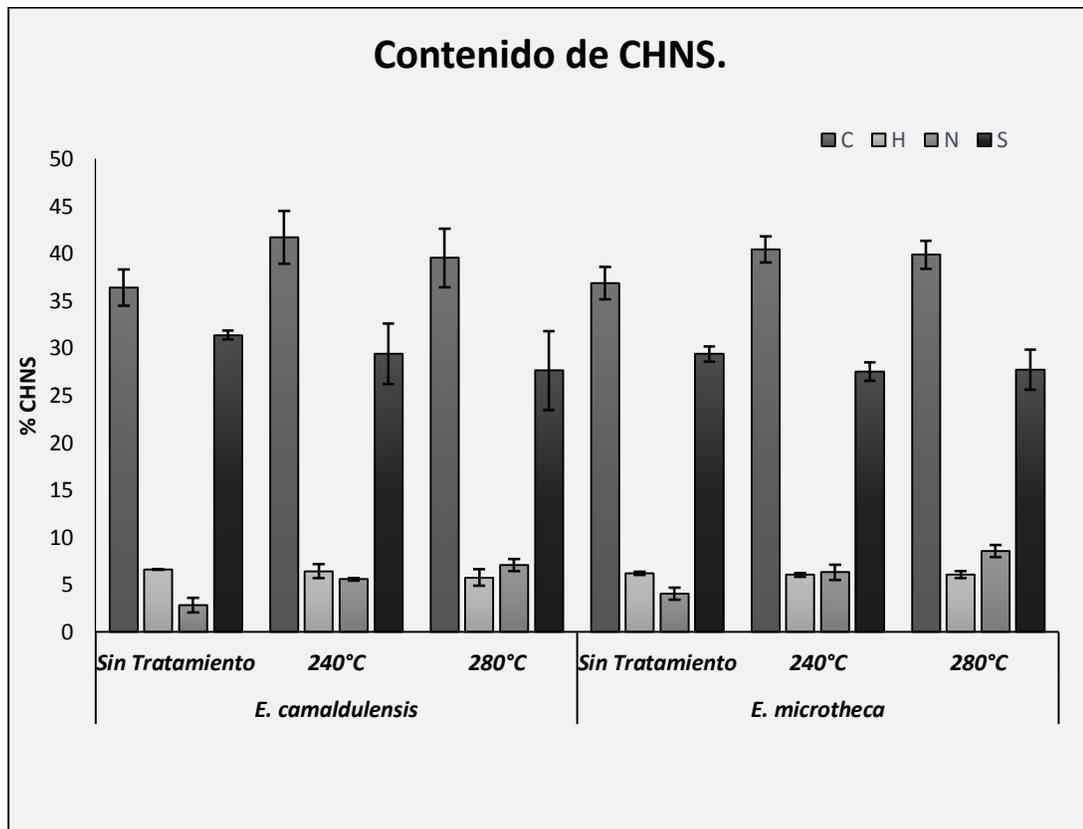


Figura 10. Contenido de CHNS (%) de madera de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* F. Cada valor graficado representa la media (n=18) \pm error estándar.

7 DISCUSIÓN

7.1. Características químicas

7.1.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad presentó diferencias en los tratamientos, sin embargo, las especies *E. microtheca* y *E. camaldulensis*, no presentaron diferencias. El porcentaje promedio de la madera de *E. camaldulensis* y *E. microtheca*, fue de 9.44 ± 0.97 sin tratamiento y con tratamiento disminuyó de 3.95 a 4.39 y 4.03 a 4.67 para *E. camaldulensis* y *E. microtheca*, respectivamente. Resultados similares presenta Patel *et al.* (2011), al reportar la disminución del contenido de humedad de un 3.3 a 5.8 % con el proceso de torrefacción.

7.1.2. Volátiles

El porcentaje promedio de volátiles de la especie de *E. camaldulensis* fue de $76.6 \pm 1.9\%$ y *E. microtheca* fue de $75.4 \pm 1.8\%$. Sin el tratamiento de torrefacción y con una disminución de material volátil del 1.6 a 4.8 % para *E. camaldulensis* y un 0.6 a 4.9 % para *E. microtheca*. De acuerdo con estudios realizados señalan que los niveles de material volátiles son inversamente proporcionales al contenido de carbón fijo. Algunos estudios realizados por Gonzalo *et al.* (2013) obtuvieron niveles de material volátil promedio de 84% para *Eucalyptus* sp.

7.1.3. Cenizas

La especie *E. microtheca* presentó mayor cantidad de cenizas que la especie *E. camaldulensis* y el contenido de cenizas aumentó hasta 0.15% después de aumentar la temperatura del proceso de 240°C a 280°C. De acuerdo con la norma DIN 51731, los requerimientos del porcentaje de cenizas para la utilización como

biocombustible debe de ser menor a 1.5%. Lo que indica que las especies estudiadas se encuentran dentro del rango descrito anteriormente. Algunos estudios realizados por Gallipoliti *et al.* (2013) obtuvieron un promedio de 1.5% de cenizas para *Eucalyptus* sp.

7.1.4. Carbón fijo

El carbono fijo está directamente relacionado con el contenido de lignina por ser ésta la más resistente a la descomposición térmica y por tanto la que más aporta al carbón (García Rojas *et al.*, 2009). Algunos autores (García-Rojas *et al.*, 2009; Gallipoliti *et al.*, 2013) mencionan un promedio de 15% de carbón fijo para *Eucalyptus* sp. Porcentaje mayor al descrito en el presente trabajo.

7.1.5. Poder Calorífico

El poder calorífico de ambas especies es menor al rango reportado en la norma DIN 51731, ya que los requerimientos del contenido de poder calorífico para la utilización como biocombustible en algunos países como en Alemania debe de ser $>18,000 \text{ J g}^{-1}$. Algunos estudios realizados por García-Rojas *et al.* (2009) documentaron un poder calorífico de $20,223 \text{ KJ kg}^{-1}$ para *Eucalyptus saligna* mayor para los resultados presentados en el presente trabajo.

7.1.6. Extraíbles

La corteza, al igual que la madera está formada por los componentes típicos de la pared celular; celulosa, lignina y por sustancias extraíbles, que se forman a partir del metabolismo secundario de las plantas y que contienen compuestos

variados como terpenos, grasas, ceras, fenoles, azúcares, entre otros, por lo que la corteza se caracteriza por un alto contenido de extraíbles (Rydholm, 1965).

Es importante considerar que la cantidad y composición de extractivos depende de la especie, parte del árbol, época del año, condiciones de crecimiento entre otros factores (Fonseca, 2006).

7.1.7. Holocelulosa

El contenido de holocelulosa en la madera constituye el 70 al 90% del total de las sustancias de la pared celular libre de extractivos o material extraño. La presencia de holocelulosa es generalmente mucho más elevado en maderas duras que en maderas blandas. Es conocido que el contenido de polisacáridos en la corteza es bajo en relación a la madera (Fengel y Wegener, 1989).

7.1.8. Lignina

En general la madera contiene entre 20 y 30% de lignina. Según la literatura, los valores en el contenido de lignina pueden variar dependiendo del método de extracción (Kurth y Smith, 1954, Higuchi *et al.*, 1967). Se considera que valores altos en el contenido de lignina en los materiales incrementa la calidad como combustible, el valor calorífico reportado de la lignina es de 26,000 a 27,000 J g⁻¹ (Francescato *et al.*, 2008). La corteza contiene altos contenidos de taninos condensados e hidrolizables y suberina insoluble en condiciones ácidas, lo que puede dar un falso valor en el contenido de lignina.

7.2. Contenido de CHNS

Los resultados indican que después de la torrefacción, se encontró, un ligero aumento en el contenido de carbono (C) y nitrógeno (N), el contenido de azufre (S) y de hidrógeno (H) fue reducido ligeramente, datos similares presentados por Wei-Hsin *et al.* (2012) realizando un estudio de torrefacción y combustibilidad de cinco tipos de biomasa en hornos de inyección encontrando un aumento en el contenido de carbono (C) y una pérdida en los contenidos de hidrógeno (H) y azufre (S).

8 CONCLUSIONES

La hipótesis descrita anteriormente se acepta de acuerdo con los resultados obtenidos al detectarse diferencias para todas las pruebas realizadas anteriormente. Los resultados también muestran que al aplicar el tratamiento de torrefacción, las propiedades de la madera mejoran. La biomasa de *Eucalyptus* sp., cuenta con el potencial energético para someterlo al proceso de torrefacción y puede ser utilizado como biocombustible.

En el caso de los extraíbles se observó que para las dos especies la muestra con mayor porcentaje de sustancias extraíbles fue la que no se le aplicó el tratamiento, la especie *E. camaldulensis* presentó mayor porcentaje de extractos. El metanol registró el mayor porcentaje de extractos seguido por acetona, agua y ciclohexano.

En lo que corresponde a lignina, no se encontraron diferencias estadísticas en los diferentes tratamientos de las especies estudiadas, el mayor porcentaje se presentó en la especie de *E. camaldulensis*, con el segundo tratamiento.

Para el contenido de holocelulosa se observó de forma general que el mayor porcentaje lo presentó con el tratamiento de torrefacción, siendo la especie *E. microtheca*, con mayor porcentaje de holocelulosa.

En general, la madera de las especies estudiadas es apta para producción de energía ya que presentan valores altos en el contenido de lignina y extractos totales, ya que estas son características indispensables para el potencial energético. Una característica de un buen combustible se presenta cuando el material presenta bajos niveles en el contenido de cenizas, sin embargo esto no sucedió para la especie *E. microtheca*, ya que presentó mayores contenidos de ceniza que los reportados para *E. camaldulensis*.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Acharya B, Sule I. and Dutta A. 2012. A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2: 349-369.
- ASTM. D 1762-84. 2001. Standard method for chemical analysis of wood charcoal. Philadelphia, Pa. U.S.A. p. 2.
- Beale I. y Clodoveo-Ortiz E. El Sector Forestal Argentino: Eucaliptos. *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial*. Facultad de Ciencias Agrarias. Revista No. 53. pp 10.
- Bergman PCA, Boersma AR, Kiel JHA, Prins MJ, Ptasinski KJ. and Janssen FJJG. 2005. Torrefaction for entrained-flow gasification of biomass. Netherlands. pp 51.
- Bioenergy International España. 2009. N°4. 3er Trimestre.
- Borja VM. 2006. Aprovechamiento de los residuos forestales para uso energético. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Castillo MLE. 2003. Introducción a la Estadística Experimental. 2da edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de parasitología. Chapingo, Estado de México. pp.263.
- Cordero T, Márquez F, Rodríguez-Mirasol J. and Rodríguez JJ. 2001. Predicting heating Values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*. 80: 1567-1571.
- FAO. 1997. The role of wood energy in Europe and OECD, WETT-Wood Energy Today for Tomorrow. Rome: FOPW, Forestry Department. pp 87.
- Fengel D. and Wegener G. 1989. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter. Berlín, Germany.

- Fonseca-Maldonado M.R. 2006. Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (*Pinus maximinoi* H. E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz. Tesis de Ingeniería. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Tactic, Alta Verapaz, Guatemala. pp. 125.
- Francescato V, Antonini E, Bergomi LZ, Metschina C, Schnedl C, Krajnc N, Kosciuk K, Gradziuk P, Nocentini G. and Stranieri S. 2008. Wood Fuels Handbook. AIEL – Italian Agroforestry Energy Association. Legnaro, Italy.
- Gallipoliti V, Martina P, Corace J. y Aeberhart. 2013. Aprovechamiento energético de residuos biomásicos de la región noreste argentino. Insumo valorable como recurso de ahorro de energía primaria. Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 1. pp. 07.117-07.123.
- García-Rojas LM, Márquez-Montesino F, Aguiar-Trujillo L, Arauso-Pérez J, Carballo-Abreu LR, Orea-Igarza U. y Zanzi R. 2009. Rendimiento de los productos de la descomposición térmica de la madera de *Eucalyptus saligna* Smith a diferentes alturas del fuste comercial. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 15(2): 147-154.
- Gonzalo E, Diez MA, García R. y Luengo JC. 2013. Modelización del comportamiento térmico de biocombustibles mediante su composición. Estudio preliminar. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo. pp.16.
- Gutiérrez A, Del Río CJ, González-Vila JF. and Romero J. 1998. Variation in the composition of wood extractives from *Eucalyptus globulus* during seasoning. Journal Wood Chemistry Technology. 18: 439-446.
- Holmbom B. 1999. Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking. Extractives In: Sjöström E, Alén R. (Eds.) Springer. Berlin. pp. 125-148.

- Jiménez G. 1991. Los residuos de origen vital. Real Academia de Farmacia. Madrid.
- Kurth EF. and Smith EJ. 1954. The chemical nature of lignin of Douglas-fir bark. Pulp Paper Mag. Canada. pp. 55:125.
- Lee JW, Kim YH, Lee SM. and Lee HW. 2012. Optimizing the torrefaction of mixed softwood by response surface methodology for biomass upgrading to high energy density. Bioresource Technology. pp 27.
- Martínez-Ruiz R, Azpíroz-Rivero HS, Rodríguez-De la O JS, Cetina-Alcalá VM. y Gutiérrez-Espinoza MA. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. Revista Científica RA Ximhai. 2(3): 815-846.
- Nogués FS. y Herrero JR. 2002. La biomasa como fuente de energía renovable. Fundación Circe. pp 17.
- Patel B, Gami B. and Bhimani H. 2011. Improved fuel characteristics of cotton stalk, prosopis and sugarcane bagasse through torrefaction. Energy for Sustainable Development. 15: 372–375.
- Paz-Fong FJ. 2008. Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal. Trabajo de Graduación. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. pp. 101.
- Rodrigues O, Rousset T. and Louis PA. 2009. Effects of torrefaction on energy properties of *Eucalyptus grandis* wood. pp. 446-452.
- Rydholm S. 1965. Pulping Processes. New York. Interscience Publishers. pp.1269.
- Runkel ROH. and Wike KD. 1951. Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz Rohwerkstoff. 9: 260-270.

- Salinas-Callejas E. y Gasca-Quezada V. 2009. Los biocombustibles. El Cotidiano. pp. 75-82.
- Tito-Ferro D, Torres A, Beaton-Soler P. and Zanzi R. 2004. Biomass torrefaction in WPM Van Swaaij T, Fjällström, Help P. and Grassi A (eds) 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Palazzo dei Congressi, Rome, Italy. pp. 859-862.
- UNE-EN 14775. 2010. Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido en cenizas. AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 9, Madrid, España. pp. 10.
- Wei-Hsin C, Shan-Wen D, Chien-Hsiung T. and Zhen-Yu W. 2012. Torrefied biomasses in a drop tube furnace to evaluate their utility in blast furnaces. Bioresource Technology. 111: 433-438.

10 ANEXOS

10.1. ANDEVA para C.H., Volátiles, Cenizas, C. fijo y P.calorífico.

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	CH	.001 ^a	5	.000	50.555	.000
	Volátiles	8.526E-5 ^b	5	1.705E-05	6.099	.000
	Cenizas	.000 ^c	5	4.496E-05	35.489	.000
	Cfijo	.001 ^d	5	.000	15.175	.000
	Pcalorífico	59092262.833 ^e	5	11818452.567	22.731	.000
Interceptación	CH	128.973	1	128.973	41688210.906	.000
	Volátiles	119.031	1	119.031	42572230.724	.000
	Cenizas	132.002	1	132.002	104204183.671	.000
	Cfijo	126.050	1	126.050	8740287.449	.000
	Pcalorífico	20111796688.167	1	20111796688.167	38681.885	.000
Tratamiento	CH	.001	2	.000	126.086	.000
	Volátiles	8.096E-05	2	4.048E-05	14.478	.000
	Cenizas	8.729E-06	2	4.365E-06	3.446	.040
	Cfijo	.001	2	.001	37.789	.000
	Pcalorífico	58769563.000	2	29384781.500	56.517	.000
Especie	CH	1.245E-06	1	1.245E-06	.402	.529
	Volátiles	3.178E-06	1	3.178E-06	1.137	.292
	Cenizas	.000	1	.000	169.883	.000
	Cfijo	1.852E-10	1	1.852E-10	.000	.997
	Pcalorífico	203258.685	1	203258.685	.391	.535
Tratamiento * Especie	CH	6.270E-07	2	3.135E-07	.101	.904
	Volátiles	1.121E-06	2	5.607E-07	.201	.819
	Cenizas	8.470E-07	2	4.235E-07	.334	.717
	Cfijo	4.271E-06	2	2.136E-06	.148	.863
	Pcalorífico	119441.148	2	59720.574	.115	.892
Error	CH	.000	48	3.094E-06		
	Volátiles	.000	48	2.796E-06		
	Cenizas	6.080E-05	48	1.267E-06		
	Cfijo	.001	48	1.442E-05		
	Pcalorífico	24956546.000	48	519928.042		
Total	CH	128.974	54			
	Volátiles	119.031	54			
	Cenizas	132.002	54			

	Cfijo	126.052	54			
	Pcalorífico	20195845497.000	54			
Total corregido	CH	.001	53			
	Volátiles	.000	53			
	Cenizas	.000	53			
	Cfijo	.002	53			
	Pcalorífico	84048808.833	53			

10.2. ANDEVA para Extraíbles

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	Ciclohexano	.000 ^a	5	2.166E-05	2.296	.111
	Metanol	.000 ^b	5	4.575E-05	1.850	.177
	Acetona	.000 ^c	5	5.934E-05	3.349	.040
	Agua	5.381E-5 ^d	5	1.076E-05	7.338	.002
	Total	.000 ^e	5	9.843E-05	4.704	.013
Interceptación	Ciclohexano	43.835	1	43.835	4647489.048	.000
	Metanol	43.089	1	43.089	1741870.097	.000
	Acetona	43.233	1	43.233	2440306.985	.000
	Agua	43.531	1	43.531	29683557.655	.000
	Total	42.336	1	42.336	2023175.744	.000
Esp	Ciclohexano	2.521E-06	1	2.521E-06	.267	.615
	Metanol	2.969E-06	1	2.969E-06	.120	.735
	Acetona	4.265E-05	1	4.265E-05	2.407	.147
	Agua	1.838E-05	1	1.838E-05	12.535	.004
	Total	3.884E-05	1	3.884E-05	1.856	.198
Trat	Ciclohexano	8.617E-05	2	4.308E-05	4.568	.033
	Metanol	.000	2	.000	4.156	.043
	Acetona	.000	2	.000	5.714	.018
	Agua	2.582E-05	2	1.291E-05	8.803	.004
	Total	.000	2	.000	10.408	.002
Esp * Trat	Ciclohexano	1.959E-05	2	9.794E-06	1.038	.384
	Metanol	2.020E-05	2	1.010E-05	.408	.674
	Acetona	5.159E-05	2	2.579E-05	1.456	.272
	Agua	9.608E-06	2	4.804E-06	3.276	.073
	Total	1.773E-05	2	8.863E-06	.424	.664
Error	Ciclohexano	.000	12	9.432E-06		
	Metanol	.000	12	2.474E-05		

	Acetona	.000	12	1.772E-05		
	Agua	1.760E-05	12	1.466E-06		
	Total	.000	12	2.093E-05		
Total	Ciclohexano	43.835	18			
	Metanol	43.090	18			
	Acetona	43.234	18			
	Agua	43.531	18			
	Total	42.337	18			
Total corregido	Ciclohexano	.000	17			
	Metanol	.001	17			
	Acetona	.001	17			
	Agua	7.141E-05	17			
	Total	.001	17			

10.3. ANDEVA para Holocelulosa

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:

Holocelulosa

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	6.332E-5 ^a	5	1.266E-05	.227	.944
Interceptación	41.106	1	41.106	735846.872	.000
Esp	4.731E-05	1	4.731E-05	.847	.376
Trat	9.409E-06	2	4.704E-06	.084	.920
Esp * Trat	6.606E-06	2	3.303E-06	.059	.943
Error	.001	12	5.586E-05		
Total	41.107	18			
Total corregido	.001	17			

10.4. ANDEVA para Lignina

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente:

Lignina

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	.000 ^a	5	3.158E-05	1.888	.170
Interceptación	40.514	1	40.514	2422675.510	.000
Esp	6.244E-05	1	6.244E-05	3.734	.077
Trat	9.353E-05	2	4.676E-05	2.796	.101
Esp * Trat	1.928E-06	2	9.641E-07	.058	.944
Error	.000	12	1.672E-05		
Total	40.514	18			
Total corregido	.000	17			

10.5. ANDEVA para CHN'S

Pruebas de efectos inter-sujetos

Origen		Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	C	4.174E-5 ^a	5	8.348E-06	2.782	.068
	H	6.308E-6 ^b	5	1.262E-06	1.192	.369
	N	.000 ^c	5	6.206E-05	28.789	.000
	S	3.045E-5 ^d	5	6.090E-06	1.180	.374
Interceptación	C	40.946	1	40.946	13643038.954	.000
	H	43.021	1	43.021	40661838.514	.000
	N	43.094	1	43.094	19990071.326	.000
	S	41.430	1	41.430	8028147.127	.000
Esp	C	5.448E-08	1	5.448E-08	.018	.895
	H	4.439E-07	1	4.439E-07	.420	.529
	N	2.785E-05	1	2.785E-05	12.921	.004
	S	5.666E-06	1	5.666E-06	1.098	.315
Trat	C	3.993E-05	2	1.996E-05	6.651	.011
	H	3.786E-06	2	1.893E-06	1.789	.209
	N	.000	2	.000	64.845	.000
	S	2.096E-05	2	1.048E-05	2.030	.174
Esp * Trat	C	1.761E-06	2	8.806E-07	.293	.751
	H	2.078E-06	2	1.039E-06	.982	.403
	N	2.875E-06	2	1.438E-06	.667	.531
	S	3.827E-06	2	1.913E-06	.371	.698
Error	C	3.601E-05	12	3.001E-06		
	H	1.270E-05	12	1.058E-06		
	N	2.587E-05	12	2.156E-06		
	S	6.193E-05	12	5.161E-06		
Total	C	40.946	18			
	H	43.021	18			
	N	43.094	18			
	S	41.430	18			
Total corregido	C	7.776E-05	17			
	H	1.900E-05	17			
	N	.000	17			
	S	9.238E-05	17			