

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE TRES
ESPECIES DE CONÍFERAS DE BOSQUE TEMPLADO DE
MÉXICO *Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren y
Pinus engelmannii Carr.”**

PRESENTA

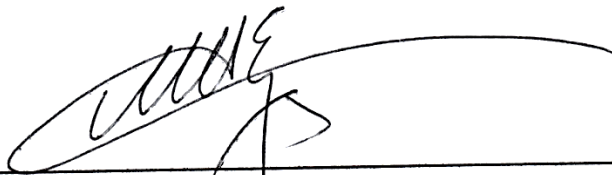
JUAN MANUEL SANTOS SÁNCHEZ

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

Enero, 2020

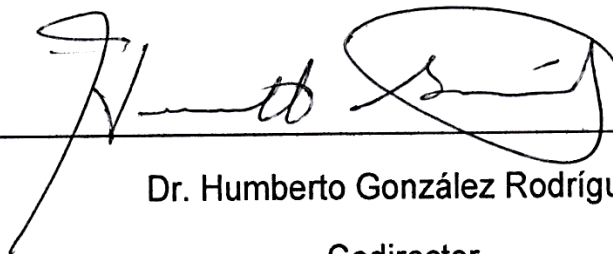
**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE TRES
ESPECIES DE CONÍFERAS DE BOSQUE TEMPLADO DE
MÉXICO *Pinus cooperi* C. Blanco, *P. durangensis* Ehren y *P.
engelmannii* Carr.”**

Aprobación de Tesis



Dr. Marco Aurelio González Tagle

Director



Dr. Humberto González Rodríguez

Codirector



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón

Asesor

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación mediante el apoyo económico de una beca estudiantil para la manutención del estudiante durante el periodo de 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 madre Juana Sánchez Sandoval por todo su apoyo y motivación continua para concluir mis estudios y la realización de esta investigación.

Al Dr. Marco Aurelio González Tagle por su valioso tiempo compartido y consejos, para realizar exitosamente esta investigación.

A los Doctores, Oscar Alberto Aguirre Calderón, Humberto González Rodríguez, por su disposición y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A la Sra. Elsa González técnica laboratorista del laboratorio de Química 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.

DEDICATORIAS

A toda mi familia en especial a mi Madre y hermano y a mi padre que, aunque no esté presente físicamente cuento siempre con su apoyo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Descripción de la especie.....	3
2.2 Importancia de las plantaciones forestales.....	4
2.3 Las coníferas como fuente de energía	4
2.4 Biomasa como fuente de energía	5
2.5 Bioenergía	5
2.6 Poder calorífico.....	6
2.7 Composición química de la madera.....	6
2.8 Extractivos de la madera	8
2.9 Influencia de la composición química	8
2.10 Cenizas.....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. HIPÓTESIS.....	11
5. OBJETIVO DEL TRABAJO.....	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos específicos.....	11
6. MATERIALES Y METODOS.....	12
6.1 Área de estudio.....	12
6.2 Selección y colecta de las muestras.....	13
6.3 Homogenización de las muestras.....	14
6.4 Caracterización química	14
6.4.1 Contenido de humedad	15

6.4.2 Contenido de compuestos volátiles	16
6.4.3 Contenido de cenizas	17
6.4.4 Contenido de carbón fijo	19
6.4.5 Poder calorífico	19
6.5 Captura y análisis de datos	19
6.6 Análisis estadístico	20
7. RESULTADOS.....	21
7.1 Caracterización química	21
7.1.1 Contenido de humedad	21
7.1.2 Contenido de volátiles	22
7.1.3 Contenido de cenizas	22
7.1.4 Contenido de carbón fijo.....	23
7.1.5 Poder calorífico.....	24
7.2 Análisis Estadístico.....	24
8. DISCUSIÓN	26
8.1 Contenido de humedad	26
8.2 Contenido de volátiles	27
8.3 Contenido de cenizas	27
8.4 Contenido de carbón fijo.....	27
8.5 Poder calorífico.....	28
9. CONCLUSIONES	30
10. BIBLIOGRAFÍA	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Norma internacional ASTM.D 1762-84	14
Tabla 2. Análisis de normalidad de datos	25
Tabla 3. Análisis de niveles de significancia entres especies	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de área de estudio	12
Figura 2. Bascula graduada y estufa de secado para las muestras de material vegetal.	16
Figura 3. Muestras colocadas en diferente posición de dentro de la mufla a 950°C.....	17
Figura 4. Muestras dentro de la mufla a temperatura de 750° C	18
Figura 5. Representación del porcentaje del contenido humedad de cada especie.	21
Figura 6. Representación del porcentaje del contenido de material volátil en cada una de las especies evaluadas.	22
Figura 7. Representación del porcentaje del contenido de cenizas en cada una de las especies evaluadas.....	23
Figura 8. Representación del porcentaje del contenido de cenizas en cada una de las especies evaluadas.....	23
Figura 9. Representación del porcentaje del potencial calorífico desprendido en cada una de las especies evaluadas.	24

RESUMEN

Con el fin de evaluar el potencial energético de las pináceas de mayor importancia económica de Durango (*Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren, y *Pinus engelmannii* Carr.) se procedió a realizar la siguiente investigación donde se recolectaron muestras de cada especie para después ser trasladadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, donde se realizó el proceso de caracterización de las muestras con base en la metodología establecida por la Norma Internacional ASTM. D 1762-84. Método de prueba estándar para el análisis químico de carbón de leña. Dentro de la metodología las variables evaluadas fueron contenido de humedad, contenido de material volátil, contenido de carbón fijo, contenido de cenizas y poder calorífico, posteriormente a los resultados obtenidos se aplicó estadística descriptiva para la comparación de medias.

Al culminar con la comparación de medias se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos, en ninguno de los grupos de variables evaluados se comportaron con normalidad, mostrando un valor de $P < 0.05$, posteriormente se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para determinar las diferencias entre las variables de estudio, demostrando que si existe diferencia significativa entre variables con valores de $P < 0.05$ trabajando con un nivel de confiabilidad del 95%. Se determinó que si existen diferencias significativas en el potencial calorífico de las especies *Pinus cooperi* (PC) con (10213.25 kJ/kg) por encima de *P. Durangensis* con (9824.90 KJ/Kg) y *P. engelmannii* (8458.84 KJ/Kg). Así mismo *Pinus Cooperi* genero mayores valores en la variable contenido de humedad (CH) con un (12.58%) contenido de cenizas (CC) con un (24.63%) contenido de carbón fijo (CF) con un (2.82 %). Para la variable de contenido de volátiles (CV) donde *P. engelmannii* presento un mayor porcentaje con un (64.16%) seguido de *P. Duranguensis* con (62.92%) en esta variable *P. Cooperi* (59.97%) fue la que presento menor porcentaje. Se concluye que la especie de *P. Cooperi* es quien muestra mayores aptitudes como combustible para la generación de energía.

Palabras clave: Potencial calorífico, *Pinus*, Coníferas.

ABSTRACT

In order to evaluate the energy potential of the most economically important pineapples of Durango (*Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren, and *Pinus engelmannii* Carr.), The following investigation was carried out where samples of each species were collected for later be transferred to the laboratory of the Faculty of Forest Sciences of the Autonomous University of Nuevo León, where the process of characterization of the samples was carried out based on the methodology established by the ASTM International Standard. D 1762-84. Standard test method for chemical analysis of charcoal. Within the methodology, the variables evaluated were moisture content, volatile material content, fixed carbon content, ash content and calorific value, after the results obtained a descriptive statistic was applied for the comparison of means.

At the end of the comparison of means, the Kolmogorov-Smirnov test was applied to determine if the data were normal, in none of the groups of variables evaluated they behaved normally, showing a value of $P < 0.05$, subsequently the test was performed. parametric of kruscall-Wallis to determine the differences between the study variables, demonstrating that there is a significant difference between variables with values of $P < 0.05$ working with a 95% reliability level.

It was determined that if there are significant differences in the calorific potential of the *Pinus cooperi* (PC) species with (10213.25 kJ / kg) above P. *Durangensis* with (9824.90 KJ / Kg) and P. *engelmannii* (8458.84 KJ / Kg). Likewise, *Pinus Cooperi* generated higher values in the variable moisture content (CH) with (12.58%) ash content (CC) with (24.63%) fixed carbon content (CF) with (2.82%). For the volatile content variable (CV) where P. *engelmannii* presented a higher percentage with (64.16%) followed by P. *Duranguensis* with (62.92%) in this variable P. *Cooperi* (59.97%) presented the lowest percentage. It is concluded that the P. *Cooperi* species shows the greatest aptitudes as fuel for power generation.

Key words: Calorific potential, *Pinus*, Conifers.

1. INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la revolución industrial y de los primeros tratados ecológicos, los países industrializados han tratado de poner en marcha estrategias para mejorar el ahorro, eficiencia y optimización de energía, por lo que se han propuesto a fomentar el uso de fuentes alternas de energía utilizando los recursos naturales renovables que nos brinda el bosque. Debido a la alta contaminación, y la creciente demanda de energía mundial, estos factores crean incertidumbre sobre las reservas de combustibles fósiles generado el interés y la necesidad de desarrollar fuentes alternas naturales para la producción y abastecimiento de energía (Ghosh & Prelas, 2011).

Los recursos biológicos de diferentes procedencias pueden ser una importante fuente de energía renovable sustentable (Martínez, 2009). La biomasa vegetal es considerada una opción eficaz para la producción de energía renovable, sustentable y ecológica, debido a que es abundante, barata y fácil de adquirir por su disponibilidad a nivel local (Lee et al, 2012). La biomasa lignocelulósica es la materia prima renovable más abundante, su producción anual se ha estimado 1 x 10¹⁰ millones de toneladas alrededor del mundo (Sánchez & Cardona, 2008). La producción de energía a partir de materia lignocelulósica es una idea interesante ya que es un material autosustentable que puede obtenerse a bajos precios (Gómez, Ríos & Peña, 2012).

El aprovechamiento de los residuos forestales como combustible directo es de uso tradicional debido al poder calorífico que desprende, lo cual es observado en aquellas zonas rurales por la deficiente cobertura de energía. (Vásquez & Herrera 2006).

Las tres cuartas partes de la población mundial, o sea, aquella que vive en los países menos desarrollados, dependen fundamentalmente de la biomasa como recurso de energía primaria, se estima que la bioenergía cubre el 35 % de la energía de las zonas rurales (Hall, Rosillo & Groot, 1992).

Los combustibles a base de madera representan aproximadamente el 7 % del suministro total de la energía mundial, pero en los países en desarrollo, representa un promedio del 15 % (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO],1992).

México cuenta con grandes reservas forestales y un alto potencial para el desarrollo de nuevas fuentes alternas de energía a partir de la biomasa, para determinar las principales características energéticas de la madera se deben considerar las variables físicas y químicas que los definen. Las características químicas de la madera que más influyen en su comportamiento como biocombustible son la composición química elemental, la composición química por compuestos y el poder calorífico (Camps & Marcos, 2008).

El objetivo del presente trabajo es determinar el porcentaje de energía calorífica que se puede obtener de cada una de la especie de coníferas evaluadas mediante la caracterización de combustibles leñosos generando información al alcance de la ciudadanía para la toma de decisiones al realizar actividades forestales como plantaciones.

2. ANTECEDENTES

2.1 Descripción de la especie

Pinus engelmannii Carr. es nativo de México, específicamente de la Sierra Madre Occidental. Árbol de talla media de 15 a 25 m de altura, por 60 a 80 cm de diámetro a la altura del pecho; hojas perennes; florece en invierno, los conos maduran de finales de octubre hasta mediados de diciembre forma parte de los bosques de *Quercus* y de los bosques de coníferas. Se localiza en las coordenadas geográficas: de 21°50' a 31°15' latitud norte, y 103°45' a 110°35' longitud oeste; su distribución natural se restringe a los estados de Chihuahua, Sonora, Sinaloa, Durango y Zacatecas (Comisión nacional forestal [CONAFO R2014]).

Pinus durangensis Ehren. es nativo de la Sierra Madre Occidental de México. Su altura es de 30-40 m y de 50-80 cm de diámetro, Hojas perenes, en fascículos de 6, 5 o 7, y raramente de 4 u 8 en la misma ramilla, de 14 a 30 cm de largo, delgadas o medianamente gruesas, de 0.6 a 1 mm de ancho, 0.6 a 0.7 mm de grueso. Conos ligeramente curvados, ovoides, de 6 a 10 cm de largo, de color café rojizo, generalmente en grupos de 2 a 3, a veces solitarios, semipersistentes durante varios meses. Se distribuye al noreste de la Sierra Madre Occidental, entre Chihuahua, Sonora y Durango; altitud de 2 500 a 2 700 m; suelos muy profundos de textura franca, limo-arcillosa de café a café rojizo, con un pH de 6 a 7; con materia orgánica de moderada a rica (5 a 10 %); ricos en nitrógeno; suelos sílicos-humíferos, permeables y profundos, ricos en calcio y potasio, pero pobres en fósforo; temperatura de 9 a 17 °C; precipitación de 600 a 1 200 mm. Presenta resistencia a heladas y no tolera las sequías (CONAFOR 2014)

Pinus cooperi C.E. Blanco se conoce únicamente de la Sierra Madre Occidental de México. Su altura es de 15 a 35 m y diámetro entre 30 y 80 cm; hojas en fascículos de 3 a 5 predominando las de 5, raramente algunos fascículos de 6,

de color verde oscuro o verde ceniciento, gruesas. Se distribuye en Zacatecas, Sinaloa, Durango, Chihuahua y Sonora (CONAFOR 2014).

2.2 Importancia de las plantaciones forestales

Las pináceas son comunidades vegetales muy características que ocupan grandes superficies del territorio nacional. Formado gran parte de la riqueza forestal de México, constituyen un recurso de primera necesidad por la demanda de su madera, por la comodidad de su aprovechamiento, por la relativa pronta recuperación en crecimiento de la población de muchas especies y sobre todo por la extensa distribución en los bosques y el buen desarrollo que presentan.

Según Martínez-Ruiz, Azpíroz-Rivero, Rodríguez-De la O, Cetina-Alcalá. & Gutiérrez-Espinoza. (2006). La superficie total de plantaciones a nivel mundial 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 en la mayoría de los casos eligen las especies de más rápido crecimiento que les garantizaran mayores ganancias económicas; por ejemplo, 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 (Lazcano, 2015).

2.3 Las coníferas como fuente de energía

La importancia de las coníferas en la industria forestal en México radica en su amplia distribución, los bosques de coníferas ocupan cerca del 15 % del territorio, con principal énfasis en cuanto a extensión aparecen los bosques de

Pinus, Pinus-Quercus, Juniperus y Abies (Flores, Jiménez, Madrigal, Moncayo & Takaki1971; Rzedowski, 1972).

2.4 Biomasa como fuente de energía

El término biomasa abarca a todas 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).

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 & Herrero, 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.

En la actualidad, la combustión de biomasa es una de las fuentes primarias de energía renovable, aportando casi 10.1% del suministro total de la energía primaria a nivel mundial, la cual es considerada neutral desde el punto de vista de la contaminación ambiental, en la emisión de CO₂ a la atmósfera (Ghosh y Prells, 2011).

2.5 Bioenergía

La bioenergía hace referencia a productos de biomasa que se han convertido a forma líquida, sólida o gaseosa, según la materia prima básica y la tecnología empleada, para la generación de energía. La biomasa abarca una amplia variedad de materia vegetales, que van desde los desechos agrícolas, forestales y urbanos hasta los cultivos plantados específicamente para producir biocombustibles, como el bioetanol y biodiesel, (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development [IAASTD], 2009).

2.6 Poder calorífico

El poder calorífico, definido como el calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a la presión constante de 1 kg cm^{-2} y temperatura atmosférica normal (Kollmann, 1959). Esta es la característica fundamental que define a un combustible como tal. Altos poderes caloríficos indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan combustibles más discretos.

Esta propiedad depende de la composición química y del contenido de humedad que posea el material al momento de ser quemado, así el poder calorífico aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad.

El potencial calórico a su vez, se ve afectado por diversos factores entre los cuales se puede mencionar la humedad, proporción de cenizas y la composición química (Tillman, 1981; Coronel, 1994).

Kollmann (1959) consideró para la madera anhidra y sin cenizas un poder calorífico promedio de $18,810\text{ J g}^{-1}$ para maderas latifoliadas de climas templados mientras que Brown, Panshin & Forsaith (1952), reportó para las mismas maderas un valor promedio de $19,646\text{ J g}^{-1}$. Doat (1977), en un estudio efectuado a 111 especies de maderas tropicales encontró un poder calorífico promedio de $19,938\text{ J g}^{-1}$.

2.7 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, González-Vila & Romero, 1998).

La lignina es un polímero natural cuyas unidades estructurales se derivan del fenilpropano; es subproducto de los pulpeos químicos de la madera y se utiliza a nivel industrial en la producción de poliuretano. Los extractos son compuestos solubles en diferentes solventes, como ejemplo, en alcoholbenceno se solubilizan ceras, grasas y resinas; en agua fría, taninos, gomas, azúcares, materiales colorantes y en agua caliente los almidones. Pueden clasificarse en ácidos volátiles, aceites esenciales, ácidos resinosos y polifenoles. Entre los contenidos inorgánicos de la madera se encuentran los cristales y el sílice. Los cristales son depósitos en su gran mayoría de sales de calcio, que se encuentran principalmente en células parenquemáticas. El sílice es un material cuya fórmula química y grado de dureza se asemejan al diamante, pueden encontrarse en el interior de las células en forma partículas o granos. Los cristales y depósitos de sílice tienen gran importancia en la propiedad de trabajabilidad de la madera y se conocen popularmente como cenizas, se ha informado que tanto para coníferas como para latifoliadas varían entre 0.1 y 1.0 % (D'Almeida, 1981).

La composición química posee una fuerte influencia en el poder calorífico, sobre todo la presencia de lignina y los extractivos totales como resinas, taninos, grasas y aceites (Cunha, Pontes, Cruz, Cabral, Cunha, & Barbosa, 1989). Estudio Químico de 55 especies lenhosas para geracao de energia em caldeiras. In, 3º. Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Anais, v.2. Sao Carlos, Brasil.

Es importante conocer la composición química elemental del material ya que esta condiciona su poder calorífico, los gases emitidos en la combustión y la composición de las cenizas. Lo ideal es conocer los porcentajes de la madera y corteza, así como la humedad a la que se manipulan estos productos. (Doat,

1977), encontró para la lignina aislada en ácido sulfúrico un poder calorífico de 25,498 J g⁻¹ en maderas resinosas.

2.8 Extractivos de la madera

Las maderas ricas en extractivos y lignina tienen mayor poder calorífico. Los compuestos extraíbles cubren una amplia variedad de compuestos de bajo peso molecular que pueden ser aislados de los materiales lignocelulósicos mediante extracciones con solventes orgánicos polares y no polares (Hillis 1962; Fengel & Wegener 1989; Swan, 1989; Sjöström, 1993).

La cantidad y la composición de los compuestos extraíbles varían según la especie considerada, la parte de la planta, época del año. Sin embargo, Fonseca (2006), encontró que la concentración de celulosa, lignina, sustancias extraíbles, taninos, cenizas y contenido de humedad en *Pinus maximinoi* no varía significativamente en función de la altura en que se extrae la muestra. Lo que indica que en cualquier parte del árbol se pueden encontrar en una cantidad similar.

2.9 Influencia de la composición química

Según Jara (1989), el poder calorífico superior de la madera, además de la humedad, está muy influenciado por la constitución química de la madera, principalmente la lignina y extraíbles. De esta manera, las coníferas que presentan un contenido de resinas y lignina mayor que las latifoliadas ostentan por consiguiente un mayor poder calorífico superior, que varía también según la parte del árbol que esté en combustión. (Cunha, Pontes, Cruz, Cabral, Cunha-Neto, & Barbosa, 1989). Estudio Químico de 55 especies lenhosas para geracao de energia em caldeiras. In, 3^o. Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Anais, v.2. Sao Carlos, Brasil asegura que el poder calorífico es más alto cuando mayor es el tenor de lignina y extraíbles, porque contienen menos oxígeno que los polisacáridos presentes en la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa).

La composición química posee una fuerte influencia en el poder calorífico, sobre todo la presencia de lignina y los extractivos totales como resinas, taninos, grasas y aceites (Cunha et al., 1989). Es importante conocer la composición química elemental del material ya que esta condiciona su poder calorífico, los gases emitidos en la combustión y la composición de las cenizas. Lo ideal es conocer los porcentajes de la madera y corteza, así como la humedad a la que se manipulan estos productos. Doat (1977), encontró para la lignina aislada en ácido sulfúrico un poder calorífico de 25,498 J g⁻¹ en maderas resinosas.

La importancia de evaluar la concentración de las propiedades físicas y composición química de la madera y corteza de diferentes especies forestales contribuye en el conocimiento de cuáles pueden ser las fuentes más importantes de esos compuestos. El conocimiento de los patrones de variación dentro de especies hace posible lograr el mayor y mejor aprovechamiento de estos recursos.

2.10 Cenizas

Las cenizas están compuestas por minerales inorgánicos como potasio, calcio, magnesio y otros minerales esenciales lo que le permite ser usado de diversas maneras en la horticultura. El contenido de cenizas corresponde a la cantidad de materia sólida no combustible presente en la biomasa a mayor contenido de cenizas menor será el valor de poder calorífico (Cuiping, Chuangzhi & Yanyongjie, 2014).

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 (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1997).

3. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento en la demanda de energía en el mundo y la incertidumbre de la cantidad de reservas de combustibles fósiles nos ha llevado pensar en el futuro, preguntándonos por cuánto tiempo más contaremos con esta fuente de energía a base de residuos fósiles generando preocupación e incertidumbre para el hombre. De igual forma la contaminación provocada por el uso de estos combustibles genera inquietud y la necesidad de disminuir el uso de estos combustibles para minimizar el daño al medio ambiente y al planeta por lo que se ha pensado en generar el uso de fuentes alternas de energía naturales renovables como lo es la biomasa (coníferas).

En la actualidad existe la dificultad de encontrar información básica acerca de la forma adecuada de uso de las coníferas en el sector industrial como fuente de energía, la información disponible se encuentra en forma deficiente o no está a la par con los progresos tecnológicos actuales. Por ello se debe realizar un análisis sobre el potencial energético de las coníferas de bosque templado de México, con el objetivo de conocer la respuesta a la capacidad de crear energía de estas y así contar con un mayor conocimiento de su capacidad para funcionar como fuente alterna de energía natural sustentable para la zona urbana, así como en la industria.

Al generar información confiable sobre la cantidad de energía que es capaz de brindar cada especie analizada y la manera en que podemos aprovecharla como una fuente de energía alterna sustentable, se puede considerar disminuir los efectos del cambio climático y el uso de combustibles fósiles. Dicha información servirá como base para nuevas investigaciones sobre la producción de energía a base de productos naturales. De esta manera se impulsará la creación de una cultura conservadora que promueva el uso de energías naturales y renovables tanto en la industria como en la vida cotidiana de la ciudadanía.

4. HIPÓTESIS

H0: Si existen diferencias significativas entre el poder calorífico de cada una de las tres especies de pináceas evaluadas.

5. OBJETIVO DEL TRABAJO

5.1 Objetivo general

Determinar el poder calorífico de tres especies de pináceas de bosque templado de México.

5.2 Objetivos específicos

Caracterizar combustibles forestales leñosos de las especies *Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, y *Pinus engelmannii*.

Determinar la distribución de especies potenciales de riesgo de incendio en plantaciones forestales comerciales.

Generar información confiable y al alcance para la ciudadanía acerca del uso de la biomasa como fuente de energía.

6. MATERIALES Y METODOS

6.1 Área de estudio

De acuerdo con (Meras, 1998; Rentería, Treviño, Návar, Aguirre, & Cantú, 2005) el área de estudio se encuentra ubicada en el estado de Durango particularmente en el Municipio de Pueblo Nuevo., la cual se encuentra enclavada en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental cuenta con una topografía accidentada en un sistema de topofomas de mesetas asociada con cañadas y altitud de 500 a 2,800 m. la cual se ubica entre las coordenadas $105^{\circ} 23' 00''$ O, $23^{\circ} 23' 00''$ N. (Figura 1).

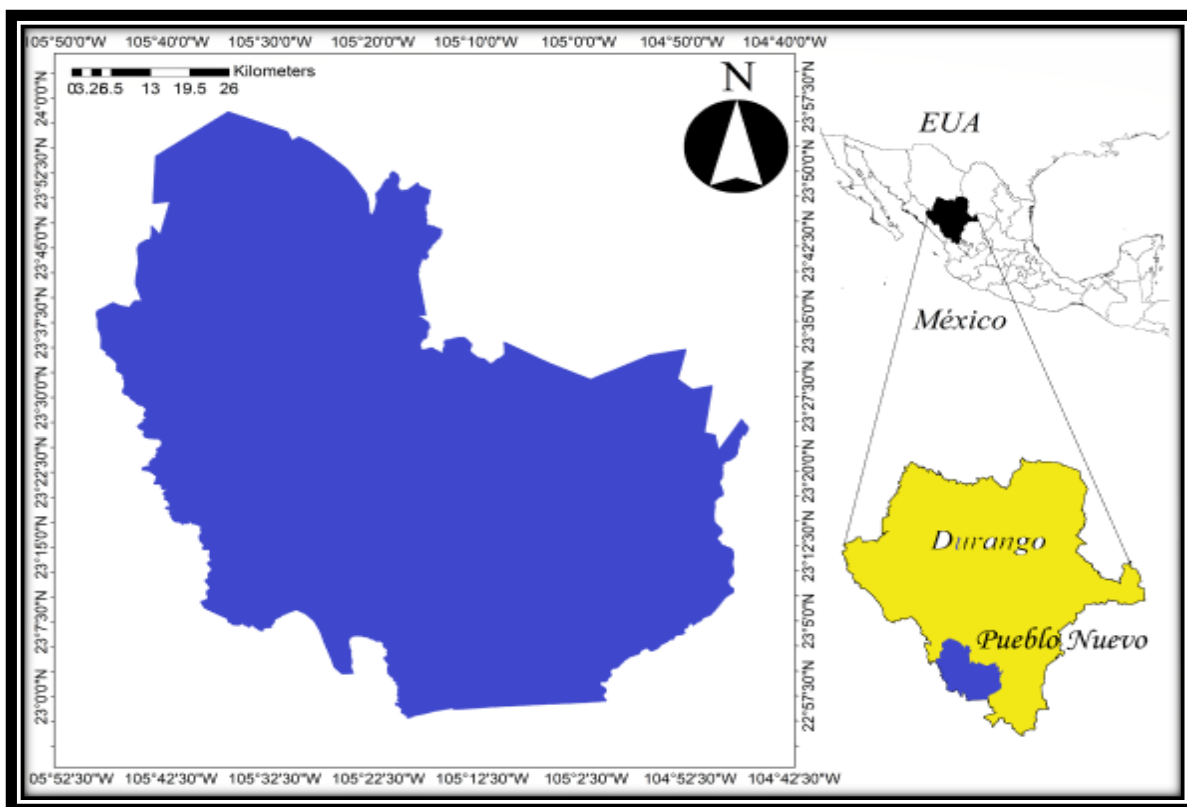


Figura 1. Localización de área de estudio

Clima

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, su precipitación promedio es de 1,200 mm anuales con régimen de lluvias en los meses de junio a septiembre y una temperatura media anual de 11.1° C (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2003).

Edafología

Los tipos de suelos en el área de estudio son Litosol y Regosol, esto de acuerdo con la información contenida en la carta edafológica escala 1: 250,000 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2004), tienen su origen en el interperismo de rocas ígneas y siendo sus principales usos, el agrícola, el pecuario y el forestal.

Vegetación

Las comunidades vegetales más importantes del predio están compuestas por bosques mixtos de *Pinus* y *Quercus*, además de algunas especies arbustivas. Los tipos de vegetación más representativos son: Bosque de pino (p), Bosque de Pino-Encino (Pq) y el Bosque de Encino-Pino (Qp).

6.2 Selección y colecta de las muestras

Para la colecta de las muestras se realizó un recorrido a pie por el área seleccionada, para así poder identificar los mejores individuos tomando en cuenta sus características fonológicas y su importancia económica dentro del estado de Durango, las especie elegidas fueron *Pinus cooperi*, *Pinus durangensis*, y *Pinus engelmannii*.

Las muestras se colectaron de individuos vivos y vigorosos con la ayuda de un corta conos, se colectaron un total de 25 muestras por individuo obteniendo 100 muestras por especie, las muestras se etiquetaron en bolsas de papel estraza y se colocaron dentro de una hielera para evitar la pérdida de humedad y así

posteriormente fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL para ser analizadas.

6.3 Homogenización de las muestras

Con las muestras en el laboratorio se procedió a su homogenización tomando las 25 muestras de cada individuo para ser trituradas en el molino de Thomas-Wiley modelo 4 y obtener partículas más finas como lo indica la metodología establecida, este proceso se realizó así mismos para todas las especies, posteriormente al finalizar el proceso de homogenización de todas las muestras se procedió a realizar el proceso de caracterización química de las muestras.

6.4 Caracterización química

Se determinó el contenido de la composición química de la biomasa obteniendo contenido de humedad (%), volátiles (%), cenizas (%), carbón fijo (%) y poder calorífico de las tres especies de coníferas evaluadas de acuerdo a la norma internacional ASTM. D 1762-84. (Tabla 1).

Tabla 1. Norma internacional ASTM.D 1762-84

		<i>Valores iniciales</i>		<i>CH</i>		<i>Volátiles</i>		<i>Cenizas</i>			
		<i>Peso de crisol</i>	<i>No. Tapa</i>	<i>Peso de tapa</i>	<i>Peso</i>	<i>Peso</i>	<i>Peso</i>	<i>Peso</i>			
<i>No. Muestras</i>	<i>No Crisol</i>	<i>Crisol (750°C) 10 min.</i>		<i>Crisol (750°C) 10 min.</i>	<i>Muestra (ambiente 1 g)</i>	<i>105°C (2 h)</i>	<i>105°C (+ 1 h)</i>	<i>Crisol + tapa 950°C (11 min.)</i>	<i>Tapa en frio 950°C (11min.)</i>	<i>Crisol en frio 750°C (6 hr)</i>	<i>Crisol en frio 750°C (+ 1hr)</i>

6.4.1 Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad se contó con 25 crisoles y 25 tapas los cuales se etiquetaron para llevar un control y no se mezclaran, se colocaron crisoles y sus tapas ya etiquetados en la mufla a 750° C durante 10 minutos para su esterilización con el objetivo de eliminar agentes ajenos a la muestra, se trasladaron los crisoles y tapas a un desecador en el que se dejaron enfriar durante 30 minutos, los cuales se colocaron sellados evitando que absorbieran humedad del ambiente y así obtener el peso de los crisoles y de las tapas el cual se restaría en la operaciones correspondientes.

Posteriormente se pasó a colocar 1.0 gramo de la muestra en cada crisol con una espátula y con la ayuda de la báscula graduada sellada al vacío para que no se excediera la cantidad de 1.0 gramo, al tener completo el número de muestras se colocaron dentro de la estufa de secado a una temperatura de 105° C durante dos horas, al finalizar este proceso se sacaron de la estufa de secado con pinzas y guantes para ser colocadas nuevamente en el desecador por 30 minutos para que se enfriaran y evitar la absorción de la humedad relativa que se encuentra en el ambiente, al paso de los 30 minutos se sacaron las muestras una por una y se pesaron nuevamente para así obtener el primer peso que se registró en la tabla de Excel correspondiente a la etiqueta que mostraba cada crisol al finalizar el primer pesaje, nuevamente se colocaron las 25 muestras dentro de la estufa de secado a 105° C durante una hora, al término de este periodo se sacaron las muestras y nuevamente se colocaron en el desecador durante 30 minutos para que se enfriaran y ser pesadas por última vez (Figura 2). Al finalizar los pesajes y tener la captura correcta de los datos se pasó a realizar las operaciones siguientes.

La fórmula que se utilizó para determinar el contenido de humedad de la muestra (Fuel Moisture Content, FMC) que es empleada de forma habitual en el campo de los incendios forestales y es utilizada como índice más estándar para determinar el contenido de agua en los combustibles dentro de la prevención de y la simulación de incendios.

$$FMC = (P_h - P_s / P_s) \times 100$$

Donde:

P_h es el peso húmedo y P_s peso seco

Donde el peso húmedo es el gramo que se colocó dentro del crisol y el peso seco es la suma de los pesajes que se realizaron menos el peso del crisol. Este proceso se realizó de la misma manera para las tres especies evaluadas.



Figura 2. Bascula graduada y estufa de secado para las muestras de material vegetal.

6.4.2 Contenido de compuestos volátiles

Al culminar la obtención del contenido de humedad pasamos al siguiente proceso que fue determinar el contenido de material volátil. Los compuestos volátiles se obtuvieron de la siguiente manera, tomando los crisoles tapados con las pinzas con 1.0 g de la muestra molida y colocándolos en la mufla a una temperatura de 950° C durante 11 minutos para que se pudieran desprender los gases de la materia orgánica y obtener el porcentaje de material volátil.

Generalmente un calentamiento rápido aumenta el porcentaje de material volátil, por este motivo el análisis de materias volátiles está normalizado (Ramírez & Pedro, 1992)

Se colocaron crisoles durante 2 minutos sobre la tapa, 3 minutos en el borde de la entrada y 6 minutos al fondo de la mufla para evitar que los gases volátiles se desprendan de manera espontánea después se colocaron por 30 minutos en un desecador y al final fueron pesados y se registraron los valores dentro de la base de datos de Excel. Este proceso se repite por segunda vez misma temperatura 950° C y mismo tiempo 11 minutos solo que ahora solo se colocaron las tapas de los crisoles en la parte media de la mufla al término del tiempo se sacaron y se colocaron en un desecador por 30 minutos y se pesaron para registrar el ultimo pesaje de material volátil y realizar las operaciones correspondientes de acuerdo a la metodología empleada.



Figura 3. Muestras colocadas en diferente posición de dentro de la mufla a 950°C.

6.4.3 Contenido de cenizas

Enseguida se pasa al siguiente proceso que es la obtención de cenizas el cual se describe a continuación, se colocaron los crisoles en la mufla con las muestras correspondientes de cada variable a una temperatura de 750 °C

durante el periodo de 6 horas al finalizar el tiempo se extrajeron las muestras con las pinzas de la mufla para ser enfriados en el desecador durante 30 minutos, al ser enfriados se comenzó a pesar las muestras para obtener el primer peso de cenizas y capturarlos en la base de datos, al culminar con este paso proseguimos a introducir nuevamente las muestras a la mufla a una temperatura de 750 °C por el tiempo de 1 hora para obtener un segundo resultado de cenizas al terminar este periodo se extraen las muestras de la mufla las cuales fueron colocadas en el desecador durante 30 minutos, se enfriaron y consecuentemente se pesaron en la báscula de esta manera se obtuvo el peso de cada muestra y se capturó en la base de datos y posteriormente se realizaron las operaciones correspondiente siguiendo la metodología planteada (Figura 4).



Figura 4. Muestras dentro de la mufla a temperatura de 750° C

6.4.4 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 según (Vásquez y Herrera, 2006) mediante la fórmula.

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

Donde:

CH = contenido de humedad (%)

MV= Material volátil (%)

CC= contenido de cenizas (%)

6.4.5 Poder calorífico

El poder calorífico se determinó al aplicar la siguiente fórmula descrita por Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., & Rodriguez, J. J, (2001).

$$HHV=354.3 (FC)+170.8 (VM)$$

Donde:

HHV= Poder calorífico (KJ/kg)

FC= Carbón fijo

VM= Contenido de volátiles

6.5 Captura y análisis de datos

Al finalizar con todas las pruebas y ensayos se procedió a la captura de los datos apoyados de la aplicación de Microsoft Excel en cual se desarrollaron las fórmulas establecidas en la metodología planteada de acuerdo a la norma internacional ASTM. D 1762-84 para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos en laboratorio.

6.6 Análisis estadístico

Con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre las variables evaluadas de cada especie se realizó el análisis comparativo de las medias de los datos mediante el paquete estadístico SPSS, versión 22 liberada para Windows. Los análisis tomaron como criterio las variables de contenido de humedad (CH), contenido carbón fijo (CF), contenido de cenizas (CC), contenido de material volátil (CV) y poder calorífico (PC) en los cual se aplicó estadística descriptiva. Posteriormente se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov dado que el tamaño de muestra que se considero fue mayor a 50 muestras por variable analizada.

Para determinar los niveles de significancia se realizó una prueba no paramétrica basada en los resultados previamente establecidos por la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, la prueba que se aplicó para determinar los niveles de significancia fue la prueba de kruskall-Wallis.

7. RESULTADOS

7.1 Caracterización química

7.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad se define como la cantidad de agua almacenada en la madera, y es expresada como un porcentaje del peso. Para la evaluación de la biomasa como combustible, este es el factor más crítico ya que determina la energía que se puede obtener por medio de la combustión. Cuando la biomasa entra en combustión o bien comienza a quemarse, lo primero que sucede es la evaporación del agua antes que el calor sea liberado por lo que se puede decir que a mayor contenido de humedad menor será el poder calorífico desprendido la biomasa, cabe mencionar que el contenido de humedad varía en función de las condiciones bioclimáticas del área, especialmente la cantidad de lluvias y temperatura.

Cada especie forestal tiene diferente composición física y química por lo cual la retención humedad varia conforme a la especie (Rodríguez., et al 2005).

La especie que presento mayor contenido de humedad fue *Pinus cooperi*, con un (12.58 %) de humedad seguido de *Pinus durangensis* con (11.20 %) y, por último, *Pinus engelmannii* con (11.18 %) como se muestra en la siguiente gráfica (Figura 5).

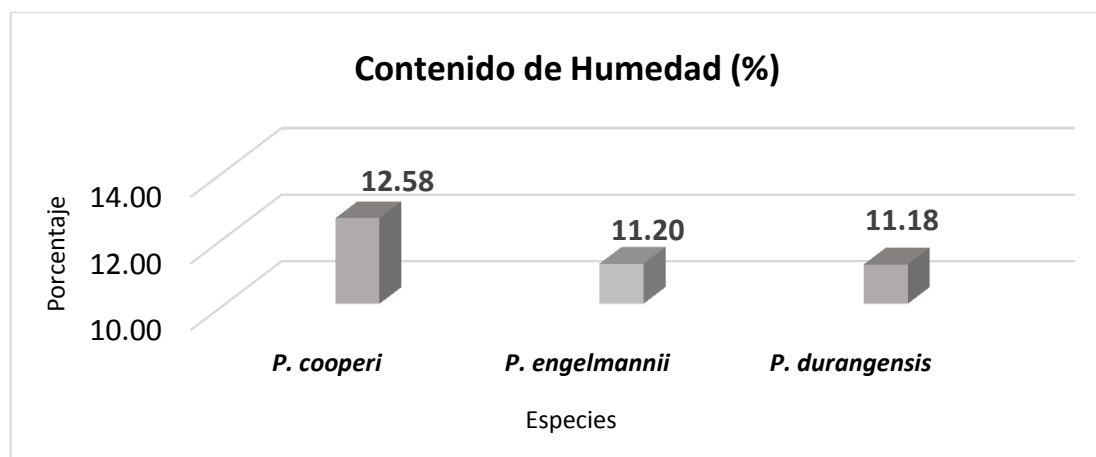


Figura 5. Representación del porcentaje del contenido humedad de cada especie.

7.1.2 Contenido de volátiles

Los materiales volátiles son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica e inorgánica durante el calentamiento (Vásquez & Herrera 2006), a medida que la masa se calienta, se desprenden productos gaseosos y líquidos. Existen desprendimientos a bajas temperaturas, pero aumenta a partir de los 550° C, los constituyentes gaseosos son principalmente agua, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano y otros (Ramírez & Pedro, 1992).

La especie que presentó mayor contenido de material volátil fue *Pinus engelmannii* con (64.16%) seguido de *P. durangensis* con (62.92%) y por último *P. cooperi* con (59.97%) como se muestra en la siguiente gráfica (Figura 6).

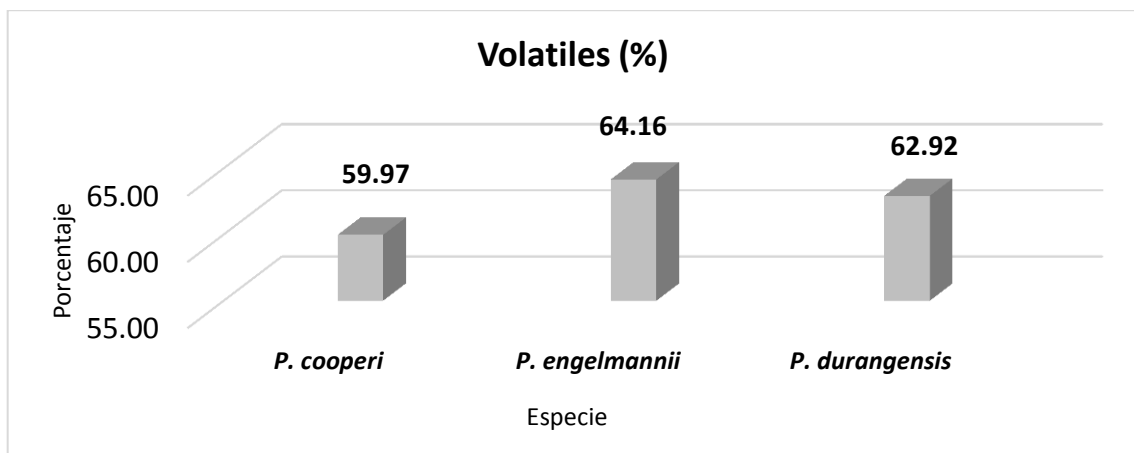


Figura 6. Representación del porcentaje del contenido de material volátil en cada una de las especies evaluadas.

7.1.3 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas corresponde a la cantidad de materia sólida no combustible presente en la biomasa, la especie que presenta mayor contenido de cenizas es *Pinus cooperi* con (24.635%) seguido de *P. durangensis* con (62.92%) y por último *P. engelmannii* con (22.45%) de contenido de cenizas como se muestra en la siguiente gráfica (Figura 7).

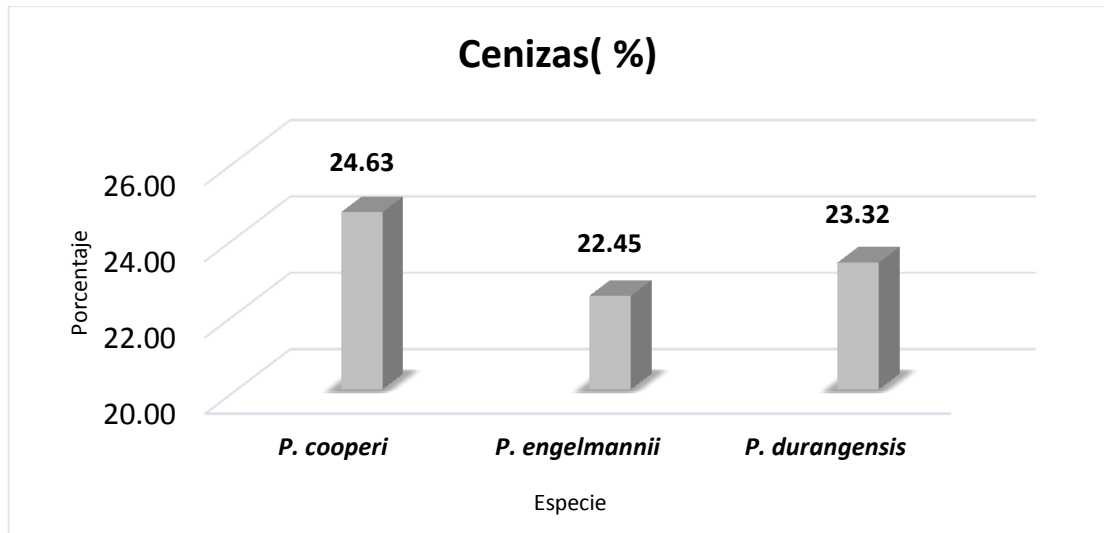


Figura 7. Representación del porcentaje del contenido de cenizas en cada una de las especies evaluadas.

7.1.4 Contenido de carbón fijo

Se define como carbón fijo al porcentaje del carbón residual que permanece luego de retirar de la muestra la humedad, la ceniza y el material volátil.

La especie que presento mayor contenido de carbón fijo fue *Pinus cooperi*, con un (2.82%) seguido de *P. durangensis* con (2.58%) y, por último, *P. engelmannii* con (2.18%) como se muestra en la siguiente grafica (Figura 8).

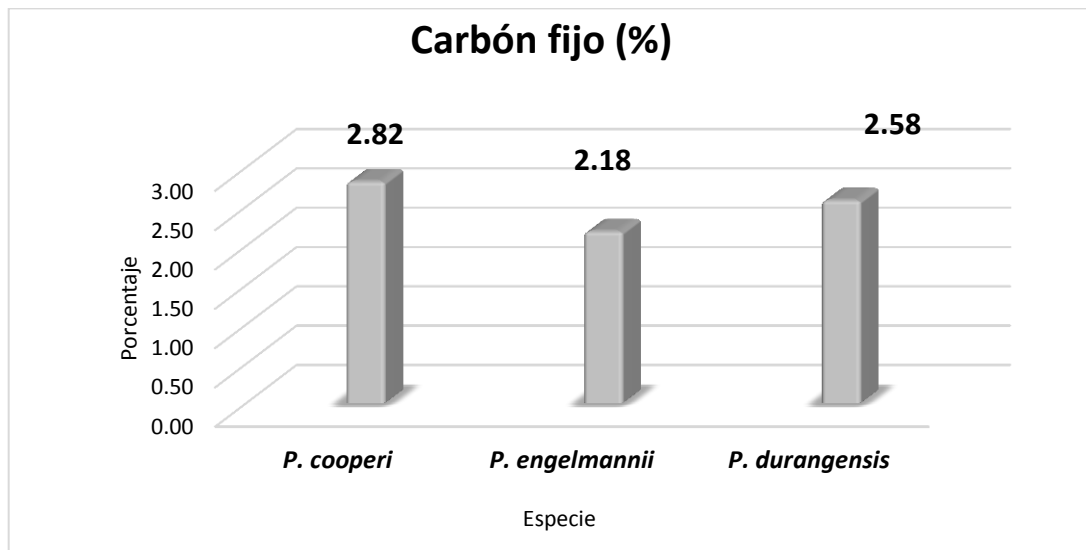


Figura 8. Representación del porcentaje del contenido de cenizas en cada una de las especies evaluadas.

7.1.5 Poder calorífico

El poder calorífico de la biomasa expresa la cantidad de energía liberada en el proceso de la combustión, entre más alto sea el valor mayor será la cantidad de energía producida. De acuerdo con la estadística descriptiva aplicada se determinó que la especie de *Pinus cooperi* es la que presenta mayor porcentaje de potencial calorífico (PC) con (10213.25) kj/kg por encima de *Pinus durangensis* (9824.90) kj/kg y *Pinus engelmannii* (8458.84) kj/kg (Figura 9).

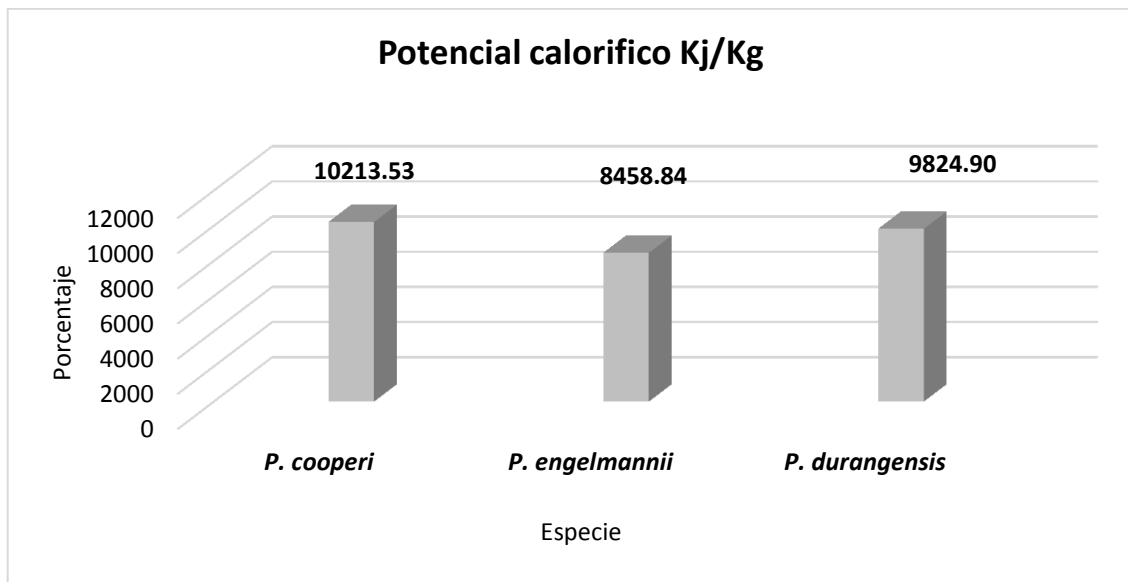


Figura 9. Representación del porcentaje del potencial calorífico desprendido en cada una de las especies evaluadas.

7.2 Análisis Estadístico

De acuerdo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov se registraron valores de $P < 0.05$ lo que indicó que no existe normalidad en la distribución de los datos para todos los grupos de variables evaluados. (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de normalidad de datos

Prueba de Kolmogorov-Smirnov .				
Variables	N	Media	Desviación estándar	Valor de P
Humedad	75	11.653	0.811	0.262
Volátiles	75	62.353	2.69	0.188
Cenizas	75	23.466	2.158	0.270
Carbón fijo	75	2.528	0.318	0.140
Potencial Calorífico	75	9499095.22	942362.177	0.187

Se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, lo que mostró que si presentan diferencias significativas entre las especies de comparación para el caso de cada variable (CH, CV, CC y PC) con valores de $P < 0.05$ ya que se trabajó con un porcentaje de confiabilidad del 95%.

Tabla 3. Análisis de niveles de significancia entres especies

Estadísticos de prueba no paramétrica					
	Humedad	Volátiles	Cenizas	Carbón Fijo	Potencial Calorífico
Chi-cuadrado	43.213	48.645	43.057	55.837	52.586
GL	2	2	2	2	2
Sig. asintótica	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

GL. Grados de libertad

8. DISCUSIÓN

8.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad evaluado en las tres especies de coníferas presenta diferencias significativas entre ellas con valores de $P < 0.05$ *Pinus cooperi*, con un (12.58 %) de humedad seguido de *Pinus durangensis* con (11.20 %) y, por último, *Pinus. engelmannii* con (11.18 %) con valores similares a los obtenidos por Lima (2013) donde las especies de coníferas evaluadas muestran diferencias significativas en la comparación de medias entre ellas respecto al contenido de humedad. Estos valores se reflejan de la siguiente manera, ya que existen un amplio rango de factores que afectan el porcentaje de humedad en cada especie de acuerdo con Lima (2013) quien encontró diferentes porcentajes de humedad en cada una de las diversas secciones de los pinos evaluados (albura, duramen).

Se ha encontrado que las maderas livianas por ser más porosas contienen una mayor cantidad de agua que las maderas pesadas y la albura, por estar conformada por células cuya función es la conducción de agua, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen.

El porcentaje de agua que está presente en la madera afecta directamente su propiedad calórica, ya que es necesario predecir de energía para disminuir el contenido de humedad y acondicionarla para que funcione como combustible. La cantidad de agua presente en la madera afecta significativamente su propiedad calorífica, ya que se requiere de energía para disminuir el contenido de humedad y acondicionarla para que funcione como combustible, el contenido de humedad máximo que puede tener la madera para quemar es de alrededor de 65 a 70% en base húmeda y alrededor de 10% en el proceso de transformación de biocombustibles sólidos (Jara, 1989).

8.2 Contenido de volátiles

Correspondiente a la variable de contenido de material volátil se encontró que la especie que presenta mayor contenido de cenizas es *Pinus cooperi* con (24.63 %) seguido de *Pinus durangensis* con (62.92 %) y por último *Pinus engelmannii* con (22.45 %) en los cuales se encontró que si existe diferencia estadística significativa relacionados con los valores obtenidos por Lima (2013) en lo que las especies de pinos evaluadas muestran diferencias significativas entre materiales volátiles.

En este trabajo se corrobora lo observado por Díez (2013), donde de acuerdo con estudios realizados señalan que los niveles de material volátiles son inversamente proporcionales al contenido de carbón fijo.

8.3 Contenido de cenizas

Según (Lazcano, 2015) una característica de un buen combustible se presenta cuando el material genera bajos niveles en el contenido de cenizas, sin embargo, esto no sucedió para la especie de *Pinus cooperi* que presentó mayor porcentaje de cenizas que las demás especies, sin embargo, es la especie que proporciona la mayor cantidad de poder calorífico. Por lo contrario, la especie de *Pinus engelmannii* que mostró la menor cantidad de cenizas y fue la especie que generó menor potencial calorífico.

8.4 Contenido de carbón fijo

El carbón fijo está directamente correlacionado con el contenido de material volátil en la presente investigación se observa que la correlación que existe entre el contenido de material volátil ya que en todas las especies evaluadas el porcentaje de carbón fijo es mayor a porcentaje de material volátil corroborando lo observado por (Márquez et al., 2001). Lazcano (2015) encontró que en la especie de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. y *E. microtheca* el contenido de material volátil es superior en porcentaje de carbón fijo obtenido mediante las pruebas químicas.

8.5 Poder calorífico

El poder calorífico presento diferencias significativas entre las especies de coníferas evaluadas con valores menores a $P < 0.05$. coincidiendo con el estudio realizado por Lima (2013) el cual evaluó especies del genero *Pinus* en el que encontró que existen diferencias significativas entre las especies evaluadas.

Según Jara (1989) el porcentaje de humedad afluye directamente en la cantidad de poder calorífico a mayor humedad menor será el porcentaje de poder calorífico, sin embargo, en la presente investigación los valores son inversamente proporcionales en los cuales *Pinus cooperi* es la especie que presenta mayor contenido de humedad con un (12.58 %) de la misma forma también es la especie que presenta mayor potencial calorífico con (10213.25) kj/kg. De acuerdo con el estudio realizado por Aguilar, Honorato &, Rebolledo (2013) en este caso el género que presentó mayor porcentaje de humedad de la misma manera fue quien presento el mayor porcentaje de potencial calorífico.

En base con lo mencionado por Márquez-Montesino, Cordero, Rodríguez-Mirasol & Rodríguez-Jiménez (2001), dentro del análisis de potencial calorífico de coníferas muestra resultados similares en cuanto al contenido en menores porcentajes de volátiles lo que favorece al incremento de potencial calorífico en el cual *Pinus cooperi* es la especie que presenta menor porcentaje de material volátil y mayor porcentaje de poder calorífico.

Desacuerdo con Beck & Halligan (1980) existen diversos factores que pueden alterar los valores obtenidos en el laboratorio como lo es el año de la colecta de las muestras, la manipulación de la humedad, contenido de lignina y de más factores inmersos en este tipo de investigaciones.

La Norma alemana DIN 51731. Fue la que se utilizó para partir como punto de referencia tomando en cuenta la cantidad de (16000)KJ/Kg⁻¹ que se estima para determinar a un material como apto para ser combustible, dentro de la metodología de esta norma se establece que las muestras son evaluadas en el

estado físico de pellet por lo cual no podemos comparar nuestros resultados directamente con los establecidos por la norma por lo que se abre una nueva posibilidad de investigación para determinar si las tres especies evaluadas pueden sobrepasar los estándares de la norma al ser evaluadas en pellets ya que en la presente investigación se evaluaron las muestras en un estado físico diferente al mencionado dejando como interrogante si el estado físico de la muestra puede generar valores superiores a los obtenidos

9. CONCLUSIONES

Se confirma la hipótesis previamente establecida ya que si existe diferencia significativa entre el poder calorífico que presenta cada una de las diferentes especies de coníferas evaluadas.

La especie que presentó mayor potencial calorífico fue la especie *Pinus cooperi* con (10213.25) KJ/kg por encima de *Pinus durangensis* (9824.90) KJ/Kg, y *Pinus engelmannii* (8458.84) KJ/Kg. La especie *Pinus cooperi* mostró una superioridad en cuanto a poder calorífico por lo que se puede determinar que en plantaciones forestales es la especie que presentaría mayor beneficio con relación a la producción de energía sustentable a diferencia de *Pinus engelmannii* quien fue la especie más baja en niveles de poder calorífico.

Los estudios encontrados sobre el potencial calorífico de la madera permiten concluir que al igual que en este estudio existen diversos factores que influyen para determinar la cantidad de poder calorífico que es capaz de producir una especie de pino, dentro de ellos destacan las propiedades físicas y químicas. De las cuales la principal y más importante es el contenido de humedad ya que es la variable que interviene de manera directa para producir energía a menor cantidad de humedad mayor será el desprendimiento de energía

Pinus cooperi presentó mayor contenido de humedad (12.58%) contenido de cenizas (24.63%) contenido carbón fijo (2.82%) a excepción de la variable de contenido de material volátil en la que *Pinus engelmannii* fue quien mostró un mayor porcentaje de material volátil. concluyendo que *Pinus cooperi* es superior que las demás especies evaluadas y así mismo reafirmando la correlación que existe entre la cantidad de material volátil y carbón fijo es una relación inversamente proporcional a mayor cantidad de volátiles menor cantidad de carbón fijo y viceversa. Lo que genera un menor porcentaje de potencial calorífico como se demuestra en los valores obtenidos donde *Pinus engelmannii* presentó el menor porcentaje de potencial calorífico.

10. BIBLIOGRAFÍA

Acharya, B., Sule, I., & Dutta, A. (2012). A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2(4), 349-369.

Aguilar, S. P., & García, R. (2013) correlación del poder calorífico y lignina de residuos de la industria de aserrío en el estado de Puebla. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*, 164.

Beck, s. r. & Halligan, J. E. (1980). "Thermochemical conversion of agricultural residues" Capítulo 5 en "Utilization and recicle of agricultural wastes and residues". Shuler, M.L. (Ed.) CRC Press, Boca Raton, Fla.

Brown, H. P., Panshin, A.J. & Forsaith, C.C. (1952). *Textbook of wood technology*. Vol. 2. McGraw-Hill. New York Toronto London.

Camps, M. M. & M. F. Marcos. (2008). *Los Biocombustibles* 2da ed. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.

Comisión Nacional Forestal Conafor. (2014). *Fichas técnicas de Pinus engelmannii Carr, Pinus durangensis Ehren Pinus Cooperi C. Blanco* <http://www.conafor.gob.mx> (4 de marzo de 2014).

Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., & Rodriguez, J. J. (2001). Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel*, 80(11), 1567-1571.

Coronel, E.O. (1994). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones*. Instituto de Tecnología de la Madera. Serie de publicaciones 9.404. Editorial El Liberal Santiago del Estero, Argentina.

Cuiping, L., Chuangzhi, W. & Yanyongjie, H. (2014) Chemical elemental Characteristic of biomass fuel in china. *biomass and energy* 27. Pp .119-130.

Cunha, M. P., C., Pontes C. L., F., Cruz I., A., Cabral M. F., D., Cunha Neto. Z., B., & Barbosa A.P., R. (1989). Estudio Químico de 55 especies lenhosas para geracao de energía em caldeiras. In, 3º. Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Anais, v.2. Sao Carlos, Brasil.

D'Almeida, M. L. O. (1981). Celulose e papel. In Celulose e papel. SENAI/IPT.

Díez, G. E. (2013). Modelización del comportamiento térmico de biocombustibles mediante su composición. Estudio preliminar.

Doat, J. (1977). Le Pouvoir Calorifique des Bois Tropicaux. Bois et Forets des Tropiques. Centre Technique Forestier Tropical. France. No. 172. 33-44 pp.

FAO (1999), Editorial Dirección de Información de la FAO. "Situación y perspectivas de la conservación y desarrollo de los bosques", Situación de los bosques en el mundo, p. 37.

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. y Wegener, G. (1989). Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlín, Germany. 415 p.

Flores, M., G., J. Jiménez, L., X. Madrigal S., F. Moncayo R. & F. T. Takaki. (1971). Memoria de mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México, D.F. 59 pp.

Fonseca, M. M. (2006). Determinación de la composición química de la madera de pino (*Pinus maximinoi* H.E. Moore) procedente de la finca Río Frío, Tactic, Alta Verapaz. Tesis Bach. Ciudad de Guatemala. GT: Universidad de San Carlos de Guatemala graduación. 154 p.

Ghosh, T. K., & Mark, A. (2011). Prelas, Energy Resources and Systems: Volume 2: Renewable Resources.

Gómez, E. A., Ríos, L. A., & Peña, J. D. (2012). Madera, un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Información tecnológica*, 23(6), 73-86. doi: 10.4067/S0718-07642012000600009.

Gutiérrez, A., del Río, J.C., González-Vila, F.J. & Romero, J. (1998). Variation in the composition of wood extractives from *Eucalyptus globulus* during seasoning. *J. Wood Chem. Technol.* 18:439–446.

Hall, D. O., Rosillo, C. F., & Groot, P. DE. (1992) “Lessons from case studies in developing countries”, *Energy Policy*, p. 62. Enero.

Hillis, W.E. (1962). *Wood extractives*. Academic press. London.

IAASTD. (2009) *Evaluación Internacional del Papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola* 15- 16 pp.

INEGI. (2003). *Anuario estadístico del Estado de Durango, Edición 2003*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, Ags. 491 p.

INEGI. (2004). *Anuario estadístico del Estado de Durango, Edición 2003*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Durango. Aguascalientes, Ags. 491 p.

Jara, E. R. (1989). *O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas–IPT.

Jiménez, G. (1991). *Los residuos de origen vital*. Real Academia de Farmacia. Madrid.

Kollmann, F. (1959). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Ministerio de Agricultura Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias, Madrid.

Lazcano. C. J. (2015). *Evaluación de la madera torrefacta de eucaliptus camaldulensis dehn y eucalyptus microtheca f. muell* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Lee, J. W., Kim, Y. H., Lee, S. M., & Lee, H. W. (2012). Optimizing the torrefaction of mixed softwood by response surface methodology for biomass upgrading to high energy density. *Bioresource technology*, 116, 471-476.

Lima, R. L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de ciencias forestales, Linares, Nuevo León).

Márquez-Montesino, F., Alcántara, T. C., Rodríguez-Mirasol, J., Rodríguez-Jiménez, J. J., Martínez-Trinidad, T., de la Rosa, A. B., & Ávalos-Rodríguez, M. A. (2001). Estudio del potencial energético de biomasa *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* (Pc) y *Pinus tropicalis* Morelet (Pt); *Eucalyptus saligna* Smith (Es), *Eucalyptus citriodora* Hook (Ec) y *Eucalyptus pellita* F. Muell (Ep); de la provincia de Pinar del Río. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1), 83-89.

Martínez, L. S. (2009). Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis doctoral, Universidad Girona.

Martínez, R. R, Azpíroz-R.H. S, Rodríguez-De la O.J.S, Cetina-A. V.M. & Gutiérrez-E. M. A. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Revista Científica RA Ximhai*. 2(3): 815-846.

Meraz, A. R. (1998). Programa de manejo forestal para el ciclo de corta 1997-2007. *Servicios Técnicos Forestales del Ejido Forestal Pueblo Nuevo*. 215 p.

Nogués, F. S., & Herrero, J. R. (2002). La biomasa como fuente de energía renovable. *Fundación Circe*.

Ramírez, C. & Pedro, F. (1992). *Introducción a la caracterización de carbones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 202 p.

Rentería, A. J. B., Treviño, G. E. J., Návar. C. J. J., Aguirre, C. O. A., & Cantú. S. I. (2005). Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo,

Durango Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 11, núm. 1, 51-56, pp.

Rodríguez, R. A., Huerta, C. M., López, D. F., Gómez, H. C., Ochoa, R. G., Sanjuán, D. R., ... & Gutiérrez, P. H. (2005). Evaluación del potencial de combustión de biomasa forestal como medida en la prevención de incendios.

Rzedowski, J. (1972). Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México. II Afinidades geográficas de la flora fanerogámica de diferentes regiones de la República Mexicana. An Esc. Nac. Cienc. Biol. Mex 19: 45-4.

Sánchez, Ó., & Cardona, C., (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. Bioresour. Technol 99 5270–5295

Sjöström, E. (1993). Wood chemistry. Fundamentals and applications. Academia Press, San Diego.

Swan, E.P. (1989). Health hazards associated with extractives, p. 931-952. In J. W. Rowe (ed.), natural products of woody plants II. Springer-Verlag.

Tillman, D. (1981). Review of mechanisms associated with wood science. Vol 13, 4:117184.

Vásquez, E. B. V., & Herrera, B. J. F. H. (2006). Metodología para la caracterización de combustibles sólidos maderables del área metropolitana del Valle de Aburrá" AMVA", Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín,59(2), 3557-3564.