

## Variación del Análisis proximal y Poder calorífico de *Pinus pseudostrabus*

Flora Apolinar Hidalgo\*, J. Amador Honorato Salazar y Gertrudis Colotl Hernández

<sup>1</sup> Campo Experimental San Martinito-INIFAP. Km. 56.5 Carretera Federal México- Puebla, San Martinito Tlahuapan, Puebla, C.P. 74100

\* Autor de correspondencia: apolinar.flora@inifap.gob.mx

**Energías Renovables** (Biocombustibles).

**Resumen:** El desarrollo de energías renovables ha adquirido importancia en la actualidad debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la alta contaminación y la creciente demanda de energía, han generado el interés y la necesidad de desarrollar fuentes alternas de energía, los bosques son un importante proveedor de energía renovable. Explorar las posibilidades de utilizar la biomasa para obtener energía requiere el análisis y el conocimiento de sus propiedades. El objetivo de este trabajo fue determinar el poder calorífico, material volátil, carbono fijo, cenizas y contenido de humedad de la madera de *Pinus pseudostrabus*. Se colectaron muestras de seis árboles en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Las muestras fueron astilladas y molidas en un molino tipo Thomas Willey y posteriormente fueron tamizadas en mallas del número 40 (0.424 mm) y número 60 (0.250 mm). El material retenido en la malla número 60 se utilizó para los análisis, con base a las normas ASTM E872 (volátiles), D1102 (cenizas), E711 (poder calorífico) y el manual de procedimientos Parr. Se aplicó un análisis de varianza, seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento Tukey ( $\alpha=0.05$ ), usando el programa estadístico. Los resultados del análisis indicaron diferencias significativas entre los árboles así como entre las trozas de *Pinus pseudostrabus* en material volátil, cenizas, carbono fijo, poder calorífico y humedad. Los valores promedio para los árboles de *Pinus pseudostrabus* fueron de poder calorífico (18.33 a 19.67 MJ/kg), volátiles (84.27 a 87.61 %), cenizas (0.13 a 0.22 %), carbono fijo (12.05 a 15.60 %) y humedad (7.99 a 8.85 %). De acuerdo con los resultados de poder calorífico y el análisis proximal, la madera de *Pinus pseudostrabus* puede considerarse como materia prima para la producción de energía.

**Palabras clave:** Madera, combustible, energía renovable

## Variation of proximate analysis and heat value of *Pinus pseudostrabus*

**Abstract:** The development of renewable energy is important today due to the increased in greenhouse gas emissions, high pollution and increase energy demand, there has been considerable interest recently energy sources and the need to develop alternative energy, forests are a major supplier of renewable energy. Exploring the possibilities of utilizing the biomass for energy requires analysis and knowledge of its properties. The objective of the present work was to determine the heat value, volatile matter, fixed carbon ash and moisture content the wood of *Pinus pseudostrabus*. Samples were collected from six trees in Ixtlán de Juárez, Oaxaca, Mexico. The samples were splintered and ground in a Thomas Wiley mill and sieved through No. 40 (0.425 mm) and No. 60 (0.250 mm) meshes. The ground material retained on the No. 60 mesh was used for various assessments, according to the ASTM norms, according to the norms ASTM E872 (volatile), D1102 (ash), E711 (heat value) and on the operation instructions of the calorimeter. The analysis of variance was followed by Tukey Multiple Comparison test ( $\alpha = 0.05$ ) using the SAS software. The results showed significant differences between trees and wood logs of the *Pinus pseudostrabus* in volatile matter, fixed carbon, ash, heat value and moisture content. According to the results of heat value and the proximate analysis, the wood of *Pinus pseudostrabus* can be considered as raw material for the production of energy.

**Keywords:** Wood, fuel, renewable energy

### Introducción

Como resultado de la creciente preocupación global con respecto a los impactos ambientales, especialmente el cambio climático, el uso de combustibles fósiles y la necesidad de un suministro de energía limpias, ha llevado que en la actualidad exista un gran interés en las energías renovables, en consecuencia, con menores impactos ambientales y precios competitivos (Telmo, 2010). El enfoque en la bioenergía como alternativa a la energía fósil ha aumentado enormemente en los últimos años, el uso de la madera en grandes cantidades para la producción de energía ha ganado cada vez más importancia en el escenario mundial y ha estimulado una mayor investigación sobre la biomasa de la madera como fuente de energía (Agostinho *et al.*, 2014). Los recursos de bioenergía de la madera provienen de una variedad de fuentes de biomasa que se originan de los residuos de tala y aclareos, estos incluyen árboles, ramas, copas, hojas, aserrín y astillas. Se pueden utilizar tres tipos principales de combustible a partir de biomasa leñosa: sólido, líquido y gaseoso. Los biocombustibles sólidos incluyen; madera, carbón vegetal, biocarbón, los líquidos incluyen; etanol lignocelulósico, butanol, metanol y biodiesel y los gaseosos incluyen; biogás, gas de síntesis y gas natural. La utilización de la leña para calentar y cocinar se sigue utilizando para estos fines energéticos hasta el día de hoy en

muchas naciones desarrolladas y en desarrollo (Hubbard, 2015), la biomasa forestal es un componente muy importante de la energía que actualmente se consume en el mundo, llegando cerca del 11% del consumo total mundial. En 2005 se estimó de manera general que el potencial energético de la biomasa forestal en México es de 1.6 a 3.03 EJ/año en combustibles leñosos. En el 2013 el Atlas de Biomasa estimó un potencial de 1.73 EJ/año para bosque natural y plantaciones, principalmente de eucalipto (PRONADEN, 2016), a nivel mundial los subproductos forestales representan aproximadamente 20 EJ/año y según expertos para el año 2050 la biomasa tiene un potencial de suministrar un rango de energía de 100 a 300 EJ/año (Chum *et al.*, 2011). El desarrollo de la bioenergía, implica como primer paso el inventario y la selección de especies como combustibles en cada ecosistema (Alvarado *et al.*, 2018), Vassilev *et al.*, (2015) plantea que se debe ampliar y mejorar los conocimientos básicos sobre composición y propiedades; y aplicar ese conocimiento para la utilización más avanzada y sostenible de la biomasa. Las principales propiedades de los materiales que afectan la conversión en energía, son el contenido de humedad, el contenido de cenizas, el contenido de volátiles, la composición elemental, los componentes químicos y el valor calorífico (Oberberger *et al.*, 2006; Demirba y Demirba, 2009). Un alto contenido de cenizas y humedad puede disminuir el poder calorífico de la biomasa, valores altos de material volátil, bajos contenidos de carbono, carbono fijo y cenizas le dan ventajas a la biomasa como fuente de energía (Vassilev *et al.*, 2015). Varios investigadores han determinado el poder calorífico y análisis proximal de varios tipos de biomasa, pellets de pinus (Nuñez *et al.*, 2007), conos de pinus (Aniszewska, 2014), astillas de madera (Lieskowsky *et al.*, 2017), pellets de biomasa residual y biosólidos (Sukarta *et al.*, 2018), madera (Bboluwaji, 2019), donde han encontrado diferencias significativas, tanto entre las especies como entre los componentes de la biomasa de los árboles, tal como encontró Filippou *et al.*, (2018) que el poder calorífico es mayor en las maderas blandas que en las maderas duras, con valores entre 18.72 MJ/kg y 21,00 MJ/kg. Por lo que el objetivo de este estudio fue determinar el poder calorífico, material volátil, carbono fijo, ceniza y contenido de humedad de 6 árboles de *Pinus pseudostrobus*, estos son indicadores para que la biomasa pueda ser considerada como fuente de energía, las determinaciones se realizaron en base a las normas ASTM (E871, E872, D1102, E711) y el manual de procedimientos (Parr, 1999).

## Materiales y Métodos

En este trabajo se seleccionaron aleatoriamente 6 árboles de *Pinus pseudostrobus* de un subrodal de aprovechamiento, donde se consideraron parámetros como la altitud, ubicación, árboles dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos, diámetros mínimos comerciales de 30 cm, rectitud de fuste y que fueran sanos, los árboles elegidos provenían de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Las dimensiones de los árboles seleccionados fueron de 65.5 a 75.5 cm de diámetro normal (DN), de 27 a 33 m de altura y de 53 a 106 años de edad, los 6 árboles seleccionados se dividieron en 22 trozas. De cada árbol se tomaron 4 trozas, excepto el árbol 2 solo se tomó 2 trozas, subsiguientemente fueron aserradas para obtener una sección de 7 cm de ancho de la parte central de cada una y después piezas de 5 cm x 5 cm x 20 cm, que posteriormente fueron cepilladas en un canteador eléctrico Mizutti de dos cuchillas para obtener la viruta, la cual se secó a temperatura ambiente, consecutivamente fueron molidos en un molino tipo Thomas Wiley. El material molido se tamizó en mallas del No. 40 (0.42 mm) y del No. 60 (0.25 mm), el material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar las determinaciones de análisis proximal y la retenida en la malla 40 para la determinación de poder calorífico, se realizaron cuatro repeticiones por troza. El análisis proximal consistió en la determinación del contenido de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo en forma secuencial, se llevó a cabo con base en las normas ASTM: la norma E871 para el contenido de humedad (ASTM, 2012b); E872 para material volátil (ASTM, 2012c); D1102 para cenizas (ASTM, 2009b); y la determinación de carbono fijo fue por diferencia en porcentaje de la suma de cenizas y el material volátil. El poder calorífico se determinó con pastillas comprimidas de madera molida menores a 1 g, en una bomba calorimétrica tipo isoperibol Parr 1266 de acuerdo con la norma ASTM E711 (ASTM, 2000), y el manual de procedimientos (Parr, 1999), a una temperatura de  $30 \pm 0.5$  °C. A la par se registró el contenido de humedad de las muestras en una balanza de humedad Ohaus MB45. Los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), usando el programa estadístico (SAS, 2000).

## Resultados y Discusión

El análisis de varianza indicó que existe diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre árboles y entre trozas (Tabla 1,2), en la tabla 1 se observa que el árbol 2 presentó mayor contenido de material volátil que los otros árboles, mientras que

los árbol 1, 2,5 y 6 presentaron mayores contenido de poder calorífico, los arboles 3, 4, 5,6 tienen altos contenidos de carbono fijo, el árbol 6 exhibió mayor contenido de cenizas y el árbol 4 mayor contenido de humedad.

Tabla 1. Análisis proximal y poder calorífico de los arboles *Pinus pseudostrubus*

Arboles	Diámetro	Altura	Edad	Material Volátil (%)*	Cenizas (%)*	Carbono Fijo (%)*	Poder calorífico (MJ/kg)	Humedad %
1	75	30	104	84.95 b <sup>†</sup>	0.14 bc	14.89 a	19.11 a	8.03 e
2	70	27	83	87.61 a	0.18 ab	12.05 b	19.67 a	7.99 e
3	65	28	106	84.59 b	0.13 c	15.26 a	18.33 b	8.17 d
4	60	32	139	84.27 b	0.13 c	15.60 a	18.40 b	8.85 a
5	65	33	53	84.76 b	0.18 ab	15.05 a	19.08 a	8.34 c
6	55	30	49	84.89 b	0.22 a	14.88 a	19.11 a	8.59 b

\* Con base al peso anhidro

† Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

Con respecto a las trozas (Tabla 2), se observa que las trozas 1C y 1D presentan mayores contenidos de material volátil, la cantidad de cenizas fue alta en la troza 6W, el contenido de carbono fijo fue mayor en la troza 1D mientras que la troza 2G presenta el mayor poder calorífico y la troza 4N el mayor contenido de humedad.

Tabla 1. Análisis proximal y poder calorífico de las trozas de madera de *Pinus pseudostrubus*

Arboles	Trozaz	Material Volátil (%)*	Cenizas (%)	Carbono Fijo (%)*	Poder calorífico (MJ/kg)	Humedad%
1	1A	85.34 d <sup>†</sup>	0.14 fg	14.51 h	18.97 cde	8.33 e
	1B	84.01 fg	0.10 k	16.17 cde	18.98 cde	7.60 k
	1C	88.74 a	0.25 cb	10.99 l	19.08 cde	8.03 hi
	1D	81.69 k	0.10 ghij	18.20 a	19.42 bc	8.15 fg
2	2F	88.54 a	0.16 ef	11.29kl	18.83 cdef	7.86 j
	2G	86.69 c	0.22 cd	13.06 i	20.54 a	8.11 fg
3	3I	83.85 ghi	0.23 bcd	15.90 cdef	19.10 cde	8.17 f
	3L	84.60 ef	0.08 ijk	15.31 fg	18.30 fgh	8.41 e
	3J	83.78 ghi	0.10 ghij	16.10 cde	18.08 gh	8.11 fg
	3K	86.14 c	0.13 fgh	13.72 i	17.77 h	8.0 i
4	4M	86.64 c	0.11 ghi	13.24 i	17.89 h	8.86 b
	4N	83.44 hi	0.09 hijk	16.45 cd	17.96 h	8.97 a
	4Ñ	84.42 efg	0.22 bcd	15.30 fg	18.69 efg	8.78 bc
	4O	82.57 j	0.10 ghij	17.31 b	19.04 cde	8.80 bc
5	5P	87.59 b	0.10 ghi	12.30 j	19.18 cde	8.14 fg
	5Q	84.04 efg	0.23 bcd	15.71 efg	19.38 dc	8.58 d
	5R	83.34 i	0.16 ef	16.49 c	19.48 bc	8.61 d
	5S	84.06 efg	0.24 bc	15.69 efg	18.28 fgh	8.05 ghi
6	6T	84.02 efg	0.20 de	15.77 def	18.75 def	8.20 f
	6U	84.70 du	0.26 b	15.03 gh	18.74 def	8.88 ab
	6V	88.11 ab	0.06 k	11.82 jk	18.91 cdef	8.74 b
	6W	83.53 hi	0.34 a	16.12 cde	20.04 ab	8.56 d

\* Con base al peso anhidro

† Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

Las principales propiedades que afectan a la biomasa en la conversión en energía, son el contenido de humedad, cenizas, volátiles, la composición elemental, los componentes químicos y el valor calorífico (Oberberger *et al.*, 2006). El poder calorífico es la cantidad de energía desprendida en forma de calor

liberada por la combustión de una unidad de masa de la madera (McKendry, 2002). En este trabajo, el poder calorífico de la madera de *Pinus pseudostrobus* fue de 18.33 a 19.65 MJ/kg, está en el rango del valor de 18.19 a 19.62 MJ/kg obtenido por Lima (2013), para *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus* y *P. leiophylla*, y por Aniszewska (2014) para *P. sylvestris* con un valor de 19.61 MJ/kg, pero con valores menores de 8.45 a 10.21 MJ/kg obtenidos por Santos (2020) para *P. cooperi*, *P. duranguesis* y *P. engelmannii* y con valores mayores (20.874 MJ/kg) reportado por Filippou *et al.*, (2018) para *Pinus spp*, valores de 19.95 y 21.80 MJ/kg para *P. caribea* y *P. tropicalis* obtenido por Márquez *et al.*, (2001) y un valor de 21.28 reportado por Zeng (2014) para *P. masson*. La humedad disminuye el poder calorífico, es de los principales factores que afectan la combustión (Ortiz, 1994), los valores encontrados para *Pinus pseudostrobus* fue de 7.99 a 8.85% entre árboles y entre trozas fue de 7.60 a 8.97%. El material volátil son desprendimientos gaseosos de la materia orgánica e inorgánica durante el calentamiento, son principalmente; agua, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano entre otros (Vásquez, 2006). Para la madera de *Pinus pseudostrobus*, su valor encontrado es de 84.27 a 87.61 % el cual es mayor al registrado para *Pinus patula* (64.73 a 77.39%) (López *et al.*, 2020) y para los 3 pinos reportados por Santos (2020) con valores de 59.97 a 64.17 %, pero similares a los valores reportados por Bjoluwaji (2019) (87.75 %) para *Pinus ponderosa*, Filippou *et al.*, (2018) (80.17 a 81.24 %); Márquez *et al.*, (2001) (83.91 %) y Telmo *et al.*, (2010) (83.9 a 85.8 %) para diferentes especies de *pinus*. La ceniza es el residuo sólido inorgánico que resulta después de quemar completamente el combustible (Basu, 2013). El contenido de cenizas en los árboles de *Pinus pseudostrobus* fue de 0.13 a 0.22%, es menor al reportado por Fonseca (2006) (0.7%) para *P. maximinoi* y similares a los reportados para diferentes *Pinus* por Dihdiakova *et al.*, (2015) (0.22%); Zeng (2014) (0.33%); Lima (2013) (0.30 a 0.68 %) y Telmo (2010) (0.20 a 0.4%). El carbono fijo aumenta el poder calorífico, es el residuo carbonoso sólido después de la liberación de los volátiles de la biomasa (McKendry, 2002), la cantidad de carbono fijo de la madera *Pinus pseudostrobus* fue de 12.05 a 15.60%, es menor a los reportados por Filippou *et al.*, (2018) (18.30 a 19.41%) para *Pinus spp*; López *et al.*, (2020) (14.78 a 23.18 %) para *P. patula*, pero similares a los obtenidos por Márquez *et al.*, (2001) (15.69 y 15.78 %) para *P. caribea* y *P. tropicalis* y Telmo *et al.*, (2010) (14.1%) para *P. pinaster*. También los resultados encontrados en este estudio se ajustan a algunos parámetros de calidad que marca el estándar europeo (UNE-EN ISO 17225) para biocombustibles sólidos (leña, astillas, pelets y briquetas), el estándar indica un contenido de humedad de 20 a 25% para leñas, en astillas marca de 10 a 15% de humedad y cenizas  $1 \leq 1\%$ , en leña y astillas el poder calorífico solo es de calidad informativa, en lo que respecta a los pelets de la clase A1 (madera virgen y residuos no tratados químicamente) el contenido de humedad debe ser de  $10 \leq 10\%$ , cenizas de  $0.7 \leq 0.7\%$  y poder calorífico de  $16.5 \geq 16.5$  MJ/kg y por último las briquetas de la clase A1, el contenido de humedad debe ser de  $12 \leq 12\%$ , cenizas de  $1.0 \leq 1$  y un poder calorífico de  $15.5 \geq 15.5$  MJ/kg. Al igual que los sistemas agrícolas y forestales convencionales, la bioenergía puede exacerbar la degradación del suelo, la vegetación asociada con la sobreexplotación de los bosques y los residuos de cultivos, también tiene efectos negativos sobre los recursos hídricos, sobre los precios de los productos alimenticios y la seguridad alimentaria por el cambio de uso de suelo para la producción de bioenergía (Robertson *et al.*, 2008). Sin embargo puede generar resultados positivos para la biodiversidad, asegurando el suministro de energía y reemplazando los combustibles fósiles, contribuyendo así a contrarrestar los efectos del cambio climático, que es uno de los principales causantes de la pérdida de hábitat. Igualmente las plantaciones de bioenergía pueden funcionar como corredores ecológicos, para reducir la presión sobre los bosques naturales y restaurar tierras degradadas o abandonadas (Firbank, 2008). La bioenergía puede tener efectos positivos como negativos y esto dependerá del diseño, la implementación, el monitoreo y el cumplimiento adecuados de los marcos de sostenibilidad para minimizar los impactos negativos y maximizar los beneficios (Chum *et al.*, 2011), por lo que es importante seguir caracterizando maderas de diferentes especies, medir otras propiedades a parte de las analizadas, como la composición química y la densidad para un adecuado manejo de las especies forestales como bioenergéticas.

## Conclusiones

La madera de *Pinus pseudostrabus* presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en análisis proximal y poder calorífico entre trozas y árboles. En general muestran cualidades energéticas para ser utilizado como combustible sólido, con un valor promedio de poder calorífico de 18.92 M/kg, contenido de humedad de 8.3%, material volátil de 85.17%, cenizas de 0.19 % y carbono fijo de 14.62 % por lo que puede ser considerada como una opción de fuente de energía renovable.

## Bibliografía

- Agostinho-Da Silva, D., B. Otomar, C. C. R. Sanquetta, A. Behling, D. Schmidt, R. Bamberg, E. Eloy y A. P. Dalla, C. (2014). Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles. *Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(2), 177-86.
- Alvarado, M. S.V., Álvarez S.E., Maldonado, T.M., Sánchez, V.A.S. (2018). Consumo de leña en México: hábitos de uso, problemática asociada y alternativas sostenibles de solución. *Agroforestería*. 4.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2000). Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. ASTM E711, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.04. West Conshohocken, PA, USA. pp. 265-271.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2009b). Standard test method for ash in wood. ASTM D1102, Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.10. West Conshohocken, PA, USA. pp. 174-175.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2012b). Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. ASTM E871, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA. pp. 98-99.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2012c). Standard test method for volatile matter in the analysis of particulate wood fuels. ASTM E872, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA. pp. 100-02.
- Aniszewska, M Y Gendek, A. (2014). Comparison of heat of combustion and calorific value of the cones and Wood of selected forest trees species, *Leśne Prace Badawcze*, 75 (3), 231–236.
- Basu, P. (2013). Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory. Academic Press. Burlington, MA, USA. 27-63.
- Bboluwaji, E.F., Babatunde, O.O., Abosedo, O.O., Onose, M.A., Fakinle, B.S. (2019) Proximate Analysis of the Properties of Some Southwestern Nigeria Sawdust of Different Wood Species, *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 10(3), 51–59.
- Chum, H., A. Faaij, J. M., Berndes, G., Dhamija, P., Dong, H., Gabrielle, B., Goss, A., Lucht, W., Mapako, M., Masera, C.O., McIntyre, T., Minowa, K.T., Pingoud, (2011). Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press.
- Demirbas, T., Demirbas C. (2009) Fuel Properties of Wood Species, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(16), 1464-1472.
- Dibdiakova, J., Wang, L., Li, H., (2015). Characterization of ashes from *Pinus Sylvestris* forest biomass. *Energy Procedia*. 75, 186-191.
- Filippou, V., Philippou, I., Symeonidis, N., Eleftheriadis, I., Tsiotas, K. (2018). Analysis of logging forest residues as an energy source. *Journal of Agricultural Informatics*, 9(1), 14-25.
- Firbank, L. (2008). Assessing the ecological impacts of bioenergy projects. *BioEnergy Research*, 1; 1 12-19.
- Fonseca, M.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. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ghosh, T. K., & Mark, A. (2011). Prelas, Energy Resources and Systems. *Renewable Resources*.
- Hubbard, W.G. (2015). Wood bioenergy. *Bioenergy. Biomass to biofuels*, Elsevier Inc. 55-71.
- Lima, R. L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- López, C.I.T., Vega, R.L.Y., Rendón, C.C.D., Tobón, R.C. (2020). Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones. *Ingeniería y desarrollo*, 38(1), 2145-9371.
- Márquez, M. F., Cordero, A. T., Rodríguez, M. J., Rodríguez, J. J. J. (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*. *Ciencias Forestales y del Ambiente*. 7(1), 83-89.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass: Gasification technologies, *Bioresour. Technol.* 83 (1) 55-63.
- Núñez, R.V.D., Escobedo B.M.G., Reveles, M.Q., Ruiz, A.F., Carrillo, P.A. (2019). Efecto del contenido de humedad sobre pélets de aserrín de madera de *pinus* spp. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*. 6(2) 136 – 144.
- Obernberger, I., Brunner, T., & Bärnthaler, G., (2006). Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, 30(11), 973-982.
- Ortiz, T. L. (1994). Energías Xilogeneradas, Vigo
- Parr. (1999). 1266 Isoperibol Bomb Calorimeter. Operating Instruction Manual. Technical Note No. 367M. Parr Instrument Company, Illinois, USA. 111.
- PRONADEN. (2016). Programa Nacional de Dendroenergía 2016 – 2018. México.
- Robertson, G.P., V.H. Dale, O.C. Doering, S.P. Hamburg, J.M. Melillo, M.M. Wander, W.J. Parton, P.R. Adler, J.N. Barney, R.M. Cruse, C.S. Duke, P.M. Fearnside, R.F. Follett, H.K. Gibbs, J. Goldemberg, D.J. Mladenoff, D. Ojima, M.W. Palmer, A. Sharpley, L. Wallace, K.C. Weathers, J.A. Wiens, and W.W. Wilhelm (2008). Sustainable biofuels redux. *Science*, 322(5898), 49-50.
- Santos, S.J.M. (2020). 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, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Statistical Analysis System (SAS). (2000). The SAS system for windows (Version 8.0 for Windows). SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Telmo, C., Lousada, J., Moreira, N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of Wood *Bioresource Technology* 10 (1), 3808–3815.
- UNE-EN ISO 17225-2: 2014. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Clases de pélets de madera.

- UNE-EN ISO 17225-3: 2014. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 3: Clases de briquetas de madera.
- UNE-EN ISO 17225-4: 2014. Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 4: Clases de astillas de madera
- UNE-EN ISO 17225-5: 2014 Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 5: Clases de leña de madera.
- 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), 3557-356.
- Vassilev, S.V., Vassileva, C.G., Vassilev, V.S.(2015). Advantages and disadvantages of composition and properties of biomass in comparison with coal: an overview. Fuel. 158, 330-350.
- Zeng, Ws., Tang, Sz. & Xiao, Qh. 2014. Calorific values and ash contents of different parts of Masson pine trees in southern China. Journal of Forestry Research Vol.25, 779–786.