

EFFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SOBRE PÉLETS DE ASERRÍN DE MADERA DE *Pinus* spp¹

[EFFECT OF THE MOISTURE CONTENT ON *Pinus* spp. WOOD SAWDUST PELLETS]

Víctor Daniel Núñez Retana¹, Miguel Ángel Escobedo Bretado², Miguel Quiñones Reveles³, Ruiz Aquino Faustino⁴, Artemio Carrillo Parra^{5§}

¹Estudiante de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Carretera Durango-Mezquital Km. 11.5, CP 34307, Durango, Dgo. México. ²Profesor-investigador, Facultad de Ciencias Químicas (UJED) Av. Veterinaria s/n, Circuito Universitario, CP 34120, Durango, Dgo. México. ³Estudiante de Maestría en Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de El Salto (ITES), Mesa del Tecnológico s/n, ITES, El Salto, Dgo., México. ⁴Profesor-Investigador de la Universidad de la Sierra Juárez (UNSIJ), Av. Universidad s/n, Ixtlán de Juárez 68725 Oaxaca, México. ⁵Profesor-Investigador del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, (UJED), Carretera Durango-Mezquital Km. 11.5, CP 34307, Durango, Dgo. México. [§]Autor para correspondencia: (acarrilloparra@ujed.mx).

RESUMEN

La calidad de pélets de aserrín es resultado del proceso de densificación y de las características del aserrín, de las cuales, el contenido de humedad es uno de los parámetros más importantes que determinan la durabilidad durante el transporte y almacenamiento. Por lo anterior, el objetivo en este trabajo fue caracterizar y evaluar el efecto de algunas propiedades físicas y energéticas y absorción de humedad del aserrín de *Pinus* spp. sobre la durabilidad de los pélets. Los pélets se elaboraron con aserrín con contenidos de humedad de 7, 9 y 11%, y se sometieron a análisis proximales y de poder calorífico. Se determinó densidad básica y a granel, se estimó el índice de resistencia al impacto, pruebas de dureza y absorción de humedad a los pélets. Los pélets elaborados con aserrín al 7% presentaron mayor densidad básica y la densidad a granel en todos los tratamientos fue mayor a 600 kg m⁻³. Por otro lado, los elaborados con aserrín al 9% mostraron mayor calidad en la prueba de durabilidad, mientras que en la prueba de resistencia al impacto fueron al 7%. La absorción de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas (p>0.05).

Palabras clave: análisis proximales, biocombustibles sólidos, propiedades mecánicas.

ABSTRACT

The quality of sawdust pellets is the result of the pelleting process and sawdust characteristics, of which the moisture content is one of the most important parameters that determine the durability. Therefore, the objective in this work was to characterize and evaluate the effect of the physical and energetic properties and moisture uptake of *Pinus* spp. sawdust on the strength and durability of the pellets made from it. The pellets were made with sawdust with moisture contents of 7, 9 and 11%, and were subjected to proximal and calorific analysis. Basic density and bulk density tests were performed, the impact resistance index, hardness test and moisture absorption of the pellets were estimated. The pellets made with sawdust at 7% had higher basic density and the

¹ Recibido: 12-abril-2019
Aceptado: 14-agosto-2019

bulk density in all treatments was greater than 600 kg m^{-3} . On the other hand, those made with 9% sawdust showed higher quality in the durability test, while in the impact resistance test were at 7%. The absorption of moisture in the pellets did not present significant statistical differences ($p>0.05$).

Index words: Proximal analysis, solid biofuels, mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de energías renovables ha adquirido mayor atención en los últimos años debido al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, y como alternativa en la reducción de estos se encuentran los pélets. Estos son biocombustibles hechos de biomasa de diferentes fuentes pulverizada con o sin aditivos, tienen forma cilíndrica, diámetros comprendidos entre 6-10 mm y longitudes de 5-40 mm (Nguyen *et al.*, 2015). La calidad está determinada por las características de la materia prima y las condiciones de producción (Sgarbossa *et al.*, 2014), tales como el contenido de humedad, material volátil, contenido de cenizas, poder calorífico, tamaño de partícula, presión y temperatura de los rodillos, etc., que a su vez son evaluadas por algunas normas como las UNE-EN, que determinan las especificaciones y requisitos del material para cumplir como biocombustible de calidad.

De esta manera, el contenido de humedad es un parámetro que puede y debe ser optimizado (Lerma-Arce *et al.*, 2017; Whittaker y Shield, 2017), se considera que un alto contenido de humedad aumenta los costos y el tiempo de secado del material base (si se realiza al aire libre), además que el material se vuelve resbaladizo, no se puede compactar con facilidad y la dureza del producto final será baja (Lehtikangas, 2001). De manera contraria, si el contenido de humedad es demasiado bajo, la fricción entre el aserrín y la matriz será demasiado alta, lo que provocará un aumento del consumo de energía, incluso que el aserrín en la matriz se queme y probablemente los orificios de la matriz se tapen (Relova *et al.*, 2009). Por otra parte, la densidad y durabilidad mecánica son parámetros de calidad de gran importancia para los pélets, desde el rol que juega la humedad en el proceso de densificación hasta la influencia sobre los mecanismos de enlace en los mismos (Samuelsson *et al.*, 2012).

La densidad está relacionada con el espacio requerido para el almacenamiento y transporte del material (Liu *et al.*, 2013; Stasiak *et al.*, 2017). Por otro lado, la durabilidad es una de las propiedades mecánicas más importantes, baja durabilidad resulta de partículas de aserrín más finas (Filbakk *et al.*, 2011a), las cuales también pueden causar problemas durante el almacenamiento, transporte y combustión (Kaliyan y Morey, 2009). Por lo que el objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades físicas y energéticas del aserrín de *Pinus* spp. así como evaluar el efecto del contenido de humedad sobre la fuerza y durabilidad de los pélets elaborados a partir del mismo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del material

El aserrín fue obtenido de un aserradero ubicado en la ciudad de Durango, se trasladó al Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera

perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango, donde fue extendido para su secado bajo condiciones ambientales.

Preparación y caracterización de la muestra

Un kilogramo de aserrín fue tamizado a un tamaño de partícula ≥ 250 μm para realizar análisis de contenido de humedad de acuerdo con la norma EN-18134-3 (2016), material volátil según la EN-18123 (2016) y cenizas según la norma EN-18122 (2016). El carbono fijo se obtuvo de restar la suma del material volátil, la humedad y el contenido de cenizas de 100% (Carrillo-Parra *et al.*, 2018). El poder calorífico se determinó en un calorímetro isoperibólico marca LECO modelo AC600 siguiendo la norma EN-14918 (2011). El resto del material fue tamizado a un tamaño de partícula ≤ 3 mm y acondicionado con un aspersor de agua hasta obtener contenidos de humedad de 7, 9 y 11% (la humedad se determinó con un medidor de grano TK100G). El material fue peletizado por medio de una máquina ZLSP-R300 (Figura 1).



Figura 1. Pélets elaborados con aserrín a contenido de humedad de 7, 9 y 11% (izquierda a derecha).

Los pélets se sometieron a pruebas de densidad básica y densidad a granel de acuerdo a la norma EN-17828 (2016); la estimación a la resistencia al impacto se realizó según lo propuesto por Richards (1990), en la que 20 pélets son soltados al suelo a una altura de 1.83 m y se calcula el índice de resistencia al impacto (IRI): $IRI = (100 \times N)/n$, donde N es el número de caídas y n es el número de piezas después de N caídas; pequeñas piezas menores al 5% del peso original no fueron consideradas para dicho cálculo. También, por medio del método antes descrito se calculó la retención de masa (dureza) de los mismos.

La absorción de humedad de los pélets se determinó siguiendo el procedimiento propuesto por Liu *et al.* (2014) a una temperatura de 25°C y una humedad relativa del 45%. El peso de tres pélets elaborados a partir de cada contenido de humedad del aserrín (7, 9 y 11%) se registró cada 15 minutos durante una hora y después cada hora durante ocho horas. Se midieron tres repeticiones para cada contenido de humedad (7, 9 y 11%).

Por último, se realizó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a todos los tratamientos con un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis proximales

El aserrín de *Pinus* spp. presentó un contenido de humedad del 4.8%, el cual fue menor al rango de 5.5 a 6.6% reportado por Filbakk *et al.* (2011b). El contenido de humedad es una propiedad que debe ser considerada con cuidado debido a que el agua tiene un rol crucial en el proceso de

densificación (Samuelsson *et al.*, 2009), siendo esta una de las propiedades físicas más importantes de los pélets. El material volátil fue de 86.36% y fue superior al reportado por autores como Forero-Núñez *et al.* (2015) con 76.82% y Demirbas (2003) con 66.60%. Así, bajos valores de material volátil son atribuidos a un debilitamiento de las fuerzas interfaciales, de adhesión y cohesión, puentes sólidos y fuerzas de enclavamiento (Graham *et al.*, 2016), lo que dificultará el encendido del biocombustible y se vuelva una desventaja. El contenido de cenizas del aserrín fue de 0.53% y está en conformidad con Serret-Guasch *et al.*, (2016) quienes mencionan que de 0.5 a 2.0% se encuentra el contenido de cenizas para residuos madereros. El contenido de cenizas es un parámetro que nos ayuda a determinar de manera rápida la calidad del biocombustible, por lo que altos contenidos de ceniza son asociados a una reducción en el contenido energético y pueden afectar negativamente la combustión (Lu *et al.*, 2014). El carbono fijo fue de 8.30% y fue menor al reportado por Serret-Guasch *et al.* (2016) en un rango de 16.70% a 18.62%. La importancia de este parámetro radica en que es el más importante en términos de energía potencial, ya que altos contenidos de carbono fijo son asociados a altos poderes calóricos (Forero-Núñez *et al.*, 2015). Por último, el poder calorífico del aserrín fue de 20.41 MJ kg⁻¹ y estuvo por encima del límite establecido por la norma EN 14961-2 (2012), por lo que puede ser usado como materia prima para su transformación en biocombustible sólido densificado para uso no industrial.

Caracterización y evaluación de pélets

La densidad básica de los pélets presentó diferencias estadísticas significativas entre los valores de contenido de humedad del aserrín (Cuadro 1, Figura 2a). El mayor valor lo presentaron los pélets elaborados con aserrín al 7%. La menor humedad incrementa la fricción durante el peletizado, esto afecta el movimiento de las partículas, lo que aumenta la compresión y la densidad (Carone *et al.*, 2011). Los valores encontrados de la densidad básica de los pélets fueron menores a lo reportado por Bergström *et al.* (2008) quienes obtuvieron valores en un rango de 1,259 kg m⁻³ a 1,276 kg m⁻³, y dentro del rango reportado por Gaitán-Alvarez *et al.* (2017). Ésto puede ser atribuido a los diferentes tamaños de partícula, ya que es generalmente aceptado que el tamaño de partícula ejerce influencia sobre la densidad y durabilidad de los pélets producidos (Harun y Afzal, 2016).

Cuadro 1. Valores promedio de las propiedades físicas y energéticas de pélets de *Pinus* spp.

Contenido de humedad (%)	Densidad básica (kg m ⁻³)	Densidad a granel (kg m ⁻³)	Dureza (%)	Índice de resistencia al impacto (IRI)	Poder calorífico (MJ kg ⁻¹)
7	1,232	646	28.25	125.00	19.15
9	1,170	639	39.82	96.67	19.10
11	1,141	606	35.12	106.67	19.18

Por otra parte, la densidad a granel (Figura 2b) no mostró diferencias estadísticas significativas entre contenidos de humedad (Cuadro 1), sin embargo, la densidad de los pélets de todos los tratamientos fue mayor a 600 kg m⁻³ establecido como mínimo aceptable por la norma EN-17828 (2016). En general, la densidad a granel es mucho más baja que la densidad básica, esto debido a los espacios vacíos intergranulares (Antwi-Boasiako y Acheampong, 2016; Şen *et al.*, 2016). Hay que tomar en cuenta que la densidad es una propiedad física que no puede ser modificada (Relova *et al.*, 2009) ya que resulta de la estructura física inherente de la materia prima (Lam *et al.*, 2008),

por lo que es una característica peculiar de cada material al ser procesado (Relova *et al.*, 2009). Järvinen y Agar (2014) reportaron valores de densidad a granel en un rango de 556 a 702 kg m⁻³ similares a los encontrados en este trabajo.

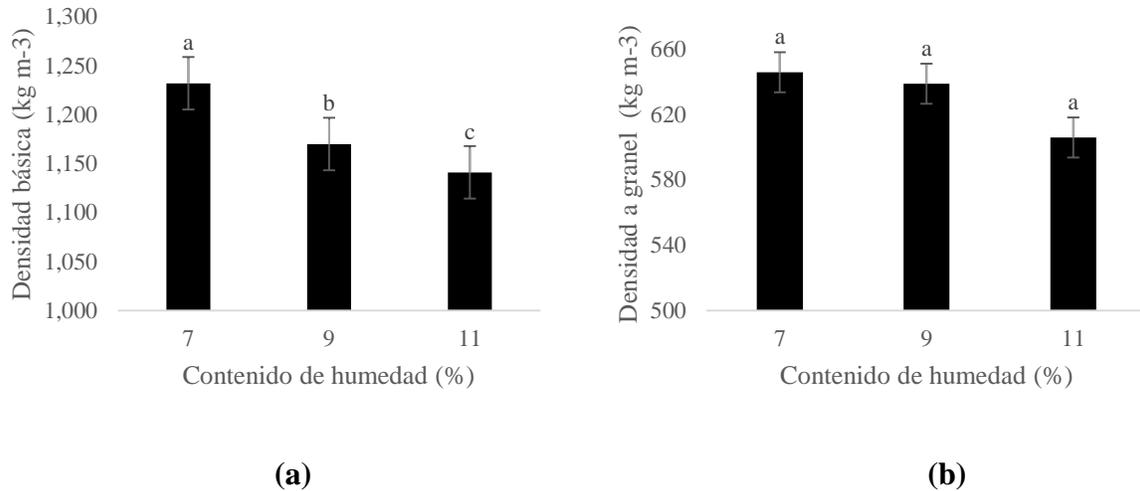


Figura 2. a) Densidad básica y b) Densidad a granel en pélets de *Pinus* spp. (Barras con mismas letras son similares estadísticamente de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$).

Los resultados de durabilidad de los pélets determinados mediante las pruebas de “retención de masa” y “resistencia al impacto” por el método de caída fueron diferentes entre ambas pruebas, en la prueba de retención de masa los pélets de mayor calidad fueron los elaborados con aserrín al 9% (Figura 3a), mientras que en la prueba de resistencia al impacto fueron los pélets elaborados con aserrín al 7% (Figura 3b). Stasiak *et al.* (2017) encontraron porcentajes de durabilidad de un 20 a 60%, los cuales son consistentes a lo reportado en el presente trabajo para el método de caída. Contrario a lo reportado por González-Martínez (2013), quien menciona que bajo presiones bajas se obtienen resultados aceptables para la prueba de resistencia al impacto. De lo anterior se deduce que cuando el contenido de humedad es bajo (7%) la fricción entre el aserrín y la matriz será demasiado alta, por lo que la presión entre los rodillos y el disco durante la elaboración de los pélets será alta, y en este trabajo bajo esas condiciones se encontraron los mejores índices. Sin embargo, en ambas pruebas los resultados no mostraron diferencias estadísticas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Comportamiento similar a lo descrito por Dávalos-Sotelo *et al.* (2010) para probetas de madera de 10 especies de encino, el cual es atribuido a que la resistencia al impacto es una función directa de la densidad básica de la madera.

La absorción de humedad de los pélets contra el tiempo de exposición es presentado en la Figura 4. En general, la absorción de humedad fue aumentando conforme transcurría el tiempo de exposición hasta mantenerse constante a los 300 minutos. Sin embargo, es importante mencionar que una exposición prolongada de los pélets a ambientes de temperaturas y humedades altas producen hinchamiento, lo que resulta en grietas en los pélets (Graham *et al.*, 2016). Comportamiento similar fue descrito por Bergström *et al.* (2008) y Liu *et al.* (2014). Gaitán-Alvarez *et al.* (2017) reportaron porcentajes de absorción de humedad en un rango de 6 a 13% en un lapso de tiempo de 8 a 12 minutos de exposición.

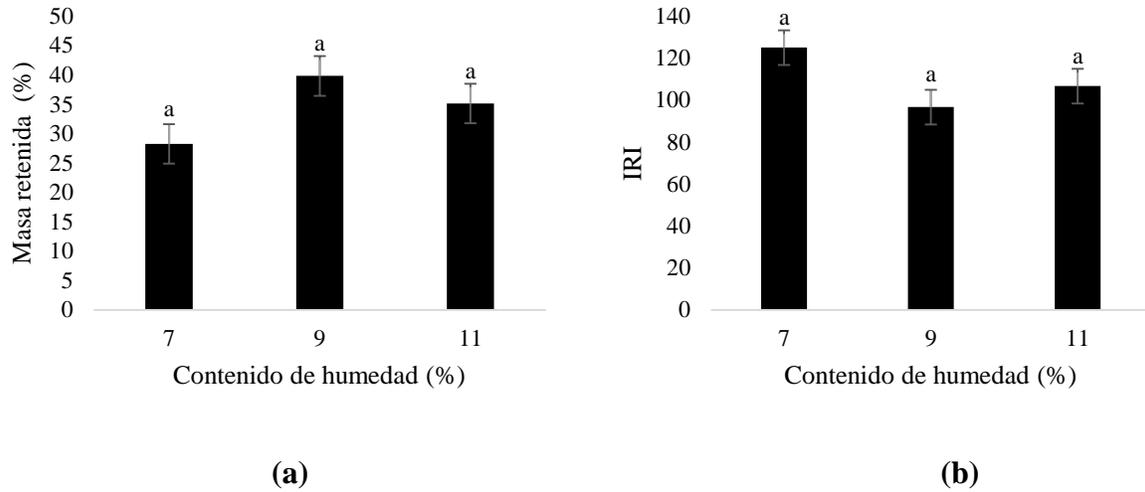


Figura 3. a) Retención de masa y b) Índice de Resistencia al Impacto en pélets de *Pinus* spp. (Barras con mismas letras son similares estadísticamente de acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$).

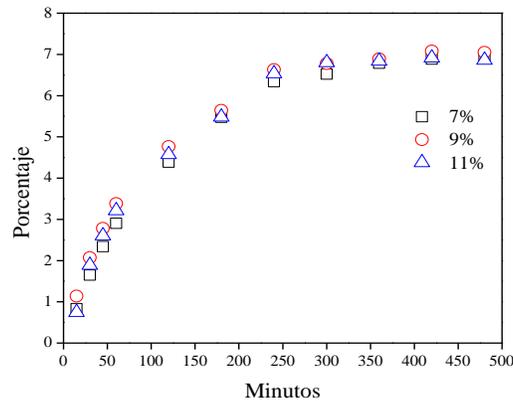


Figura 4. Absorción de humedad en pélets de *Pinus* spp.

La absorción de humedad de los pélets no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). Sin embargo, fue ligeramente mayor en los pélets al 9%, esto puede ser atribuido a la menor densidad de los mismos, probablemente valores bajos de densidad permiten que las moléculas de agua puedan penetrar más fácilmente la cubierta formada durante el proceso de densificación, lo anterior se corrobora al observar los pélets elaborados con aserrín al 7% (más densos), los cuales presentaban una cubierta más brillante y de un color más oscuro. Lo anterior está en contra con lo reportado por Rhén *et al.* (2007), quienes encontraron mayor absorción de humedad en muestras con el menor contenido de humedad.

CONCLUSIONES

Los pélets elaborados con aserrín al 7% de contenido de humedad presentan mayor densidad básica resultado de la reducción de espacios vacíos entre partículas. La densidad a granel en los

tres tratamientos fue mayor a 600 kg m^{-3} y no se modifican al cambiar el contenido de humedad de partículas. Los pélets elaborados con aserrín al 9% presentaron mayor resistencia mecánica (mayor porcentaje de masa retenida), atribuido a que el aserrín se encontraba en las condiciones óptimas para la densificación. Para la prueba de resistencia al impacto, los pélets fabricados bajo un contenido de humedad al 7% presentaron los valores más altos, atribuidos a la alta presión causada por el bajo contenido de humedad. La absorción de humedad en los pélets no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$). La densificación es un proceso en el que ocurren gran variedad de procesos físicos y químicos, por lo que sería importante realizar pruebas químicas a las diferentes fuentes de biomasa antes de aplicar los tratamientos y posteriormente a los pélets para y poder explicar de manera más adecuada los procesos mecánicos que ocurren durante el peletizado.

LITERATURA CITADA

- Antwi-Boasiako, C. and B. B. Acheampong. 2016. Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. *Biomass and Bioenergy* 85: 144–152.
- Bergström, D., R. Israelsson, M. Öhman, S. A. Dahlqvist, R. Gref, C. Boman and I. Wästerlund. 2008. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology* 89: 1324-1329.
- Carone, M. T., A. Pantaleo and A. Pellerano. 2011. Influence of process parameters and biomass characteristics on the durability of pellets from the pruning residues of *Olea europaea* L. *Biomass and Bioenergy* 35: 402-410.
- Carrillo-Parra, A., H. M. Ngangyo, S. Colín-Urieta, P. R. Foroughbakhch, J. G. Rutiaga-Quñones and F. Correa-Méndez. 2018. Physical, mechanical and energy characterization of wood pellets obtained from three common tropical species. *PeerJ* 6: 16.
- Dávalos-Sotelo, R., C. P. Pérez-Olvera y G. M. Bárcenas-Pazos. 2010. Resistencia al impacto de la madera de diez encinos (*Quercus*) mexicanos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16: 215-226.
- Demirbas, A. 2003. Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. *Energy Conversion and Management* 44: 1481-1486.
- EN 14918. 2011. Determinación del poder calorífico. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 60 p.
- EN 14961-2. 2012. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 2: Pélets de madera para uso no industrial. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 14 p.
- EN 17828. 2016. Determinación de la densidad a granel. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 14 p.
- EN 18122. 2016. Determinación del contenido de ceniza. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 12 p.
- EN 18123 (2016). Determinación del contenido en materia volátil. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 15 p.
- EN 18134-3. 2016. Determinación del contenido de humedad, Método de secado en estufa-Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid, España. 11 p.
- Filbakk, T., G. Skjevraak, O. Høibø, J. Dibdiakova, and R. Jirjis. 2011a. The influence of storage and drying methods for Scots pine raw material on mechanical pellet properties and production parameters. *Fuel Processing Technology* 92: 871-878.

- Filbakk, T., R. Jirjis, J. Nurmi and O. Høibø. 2011b. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass and Bioenergy* 35: 3342-3349.
- Forero-Núñez, C. A., J. Jochum and F. E. Sierra. 2015. Effect of particle size and addition of cocoa pod husk on the properties of sawdust and coal pellets. *Ingeniería e Investigación* 35: 17-23.
- Gaitán-Alvarez, J., R. Moya, A. Puente-Urbina and A. Rodríguez-Zuñiga. 2017. Physical and Compression Properties of Pellets Manufactured with the Biomass of Five Woody Tropical Species of Costa Rica Torrefied at Different Temperatures and Times. *Energies* 10: 1205.
- González-Martínez, I. D. 2013. Potencial del aserrín generado en la transformación primaria de *Pinus patula* para la fabricación de pélets. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 116 p.
- Graham, S., I. Ogunfayo, M. R. Hall, C. Snape, W. Quick, S. Weatherstone and C. Eastwick. 2016. Changes in mechanical properties of wood pellets during artificial degradation in a laboratory environment. *Fuel Processing Technology* 148: 395-402.
- Harun, N. Y. and M. T. Afzal. 2016. Effect of particle size on mechanical properties of pellets made from biomass blends. *Procedia Engineering* 148: 93-99.
- Järvinen, T. and D. Agar. 2014. Experimentally determined storage and handling properties of fuel pellets made from torrefied whole-tree pine chips, logging residues and beech stem wood. *Fuel* 129: 330-339.
- Kaliyan, N. and R. V. Morey. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy* 33: 337-359.
- Lam P. S., S. Sokhansanj, X. Bi, C. J. Lim, L. J. Naimi, M. Hoque, S. Mani, A. R. Womac, X. P. Ye and S. Narayan. 2008. Bulk density of wet and dry wheat straw and switchgrass particles. *Applied Engineering in Agriculture* 24: 351-358.
- Lehtikangas, P. 2001. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy* 20: 351-360.
- Lerma-Arce, V., J. V. Oliver-Villanueva and G. Segura-Orenga. 2017. Influence of raw material composition of Mediterranean pinewood on pellet quality. *Biomass and Bioenergy* 99: 90-96
- Liu, Z., A. Quek and R. Balasubramanian. 2014. Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars. *Applied Energy* 113: 1315-1322.
- Liu, Z., B. Fei, Z. Jiang, Z. Cai and Y. Yu. 2013. The properties of pellets from mixing bamboo and rice straw. *Renewable Energy* 55: 1-5.
- Lu, D., L. G. Tabil, D. Wang, G. Wang and S. Emami. 2014. Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders. *Biomass and Bioenergy* 69: 287-296.
- Nguyen, Q.N., A. Cloutier, A. Achim and T. Stevanovic. 2015. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. *Biomass and Bioenergy* 80: 338-349.
- Relova, I., S. Vignote, M. A. León and Y. Ambrosio. 2009. Optimisation of the manufacturing variables of sawdust pellets from the bark of *Pinus caribea* Morelet: Particle size, moisture and pressure. *Biomass and Bioenergy* 33: 1351-1357
- Rhén, C., R. Gref, M. Sjöström and I. Wästerlund. 2007. Effects of raw material moisture content, densification pressure and temperature on some properties of Norway spruce pellets. *Fuel Processing Technology* 87: 11-16.
- Richards, S. R. 1990. Physical testing of fuel briquettes, *Fuel Processing Technology* 25: 89-100.

- Samuelsson, R., M. Thyrel, M. Sjöström and T. A. Lestander. 2009. Effect of biomaterial characteristics on pelletizing properties and biofuel pellet quality. *Fuel Processing Technology* 90: 1129-1134.
- Samuelsson, R., S. H. Larsson, M. Thyrel and T. A. Lestander. 2012. Moisture content and storage time influence the bindings mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy* 99: 109-115.
- Şen, A., C. Leite, L. Lima, P. Lopes and H. Pereira. 2016. Industrial valorization of *Quercus cerris* bark : Pilot scale fractionation. *Industrial Crops Products* 92: 42–49.
- Serret-Guasch, N., G. Giralt-Ortega y M. Quintero-Ríos. 2016. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología química* 36: 468-479.
- Sgarbossa, A., C. Costa, P. Menesatti, F. Antonucci, F. Pallotino, M. Zanetti, S. Grigolato and R. Cavalli. 2014. Colorimetric patterns of wood pellets and their relations with quality and energy parameters. *Fuel* 137: 70–76.
- Stasiak, M., M. Molenda, M. Ba, J. Wi, P. Para and E. Gondek. 2017. Mechanical and combustion properties of sawdust-Straw pellets blended in different proportions. *Fuel Processing Technology* 156: 366–375.
- Whittaker, C. and I. Shield. 2017. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability - A review. *Renewable Sustainable Energy Reviews* 71: 1–11.