

# Efecto del tipo de material, presión y temperatura en la densidad de briquetas de residuos industriales de tres especies del género *Pinus*

J.E. Pérez-Pérez<sup>1</sup>, A. Carrillo-Parra<sup>2</sup>, J.G. Rutiaga-Quñones<sup>3</sup>, V. Bustamante-García<sup>4</sup>,  
F. Garza-Ocañas<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León; <sup>2</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango; <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, UMSNH; <sup>4</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango; <sup>5</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León

## Resumen

La calidad de briquetas elaboradas a partir de aserrín y corteza está en función del tipo y parámetros de producción empleados en el proceso. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la especie, tipo de residuo así como la temperatura y presión durante el proceso de elaboración de briquetas de las especies de *Pinus montezumae*, *Pinus leiophyla* y *Pinus pseudostrobus*. El aserrín de madera y corteza se cribó con la malla 20 mesh para obtener material de tamaño homogéneo. Las briquetas se elaboraron con una máquina briqueteadora experimental con aserrín de madera y mezcla de madera-corteza en proporción 1:1. Las presiones empleadas fueron 50, 100 y 150 bares y temperaturas de 30 °C y 40 °C. La densidad fue el parámetro de calidad cuantificado. Se realizaron análisis de

varianza y pruebas de comparación de medias múltiples, mediante el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el paquete estadístico R statistic 3.1.2. Los resultados mostraron que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la especie empleada. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la densidad según la temperatura, presión y tipo de material utilizados en el proceso.

**Palabras clave:** briquetas, densidad, friabilidad, presión, residuos forestales, temperatura.

## Abstract

The quality of briquettes made from sawdust and bark is a result of the kind of material and production parameters in the process. The objective of this research was to determine the effect of species, kind of material, temperature and pressure during the process of elaboration of briquettes. The material from wood of *Pinus montezumae*, *Pinus leiophylla* and *Pinus pseudostrobus* was milled until 20 mesh. The briquettes were made with an experimental machine out of sawdust, bark and a mixture of sawdust-bark (1:1). The pressures employed were 50, 100 and 150 kg/cm<sup>2</sup> and temperatures of 30 °C and 40 °C. Density was the quantified quality parameter. Analysis of variance and comparison tests of multiple socks, using the Tukey method were carried out ( $p < 0.05$ ) with the statistical package R. The results showed not significant differences ( $p > 0.05$ ) among the species used. Significant differences were found ( $p < 0.05$ ) in density according to temperature, pressure and kind of material used in the process.

## Introducción

Biocombustible es cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, también se denomina a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético (Sánchez, 2015). La energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal (Hernández & Hernández 2008).

Los residuos forestales procedentes de los trabajos silvícolas pueden consistir en ramas, puntas, trozas con dimensiones no comerciales, tocones, hojas y acículas (Fernández, 2016). El tratamiento más común aplicado a los residuos forestales consiste en el apilamiento en el monte (Tolosana *et al.*, 2013). Sin embargo, el

triturar, astillar y quemar los residuos en las áreas de corta, se realiza ocasionalmente para reducir el volumen y favorecer la rápida incorporación al suelo (Martínez, 2013). Una opción de uso de los residuos de aprovechamientos forestales y de la industria es su uso como fuente de energía. Sin embargo la biomasa presenta algunos inconvenientes para ser empleada directamente como fuente de energía, entre ellos se encuentra alto contenido de humedad (> 50%), tamaño y forma irregular (< 0.2 mm a 30mm) y baja densidad (40-400 kg/m<sup>3</sup>) (Kaliyan y Morey, 2009). Para reducir éstos inconvenientes se han empleado tratamientos de densificación que produce pellets o briquetas de la biomasa. La densificación es un procedimiento que aumenta el peso por unidad de volumen de la biomasa, partiendo de valores de 40 – 200 kg/m<sup>3</sup> finalizando el proceso, se obtiene un material con valores de 600 – 1100 kg/m<sup>3</sup> (McMullen et al., 2005; Obernberger y Thek, 2004; Holley, 1983).

El uso de las briquetas data de la segunda parte del siglo XIX y ha estado ligado a periodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la Segunda Guerra Mundial la fabricación de briquetas a partir de residuos de madera y otros desperdicios se encontraba muy extendida en Europa y América. Al inicio de los años 80, resurge el uso de briquetas en Escandinavia, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá.

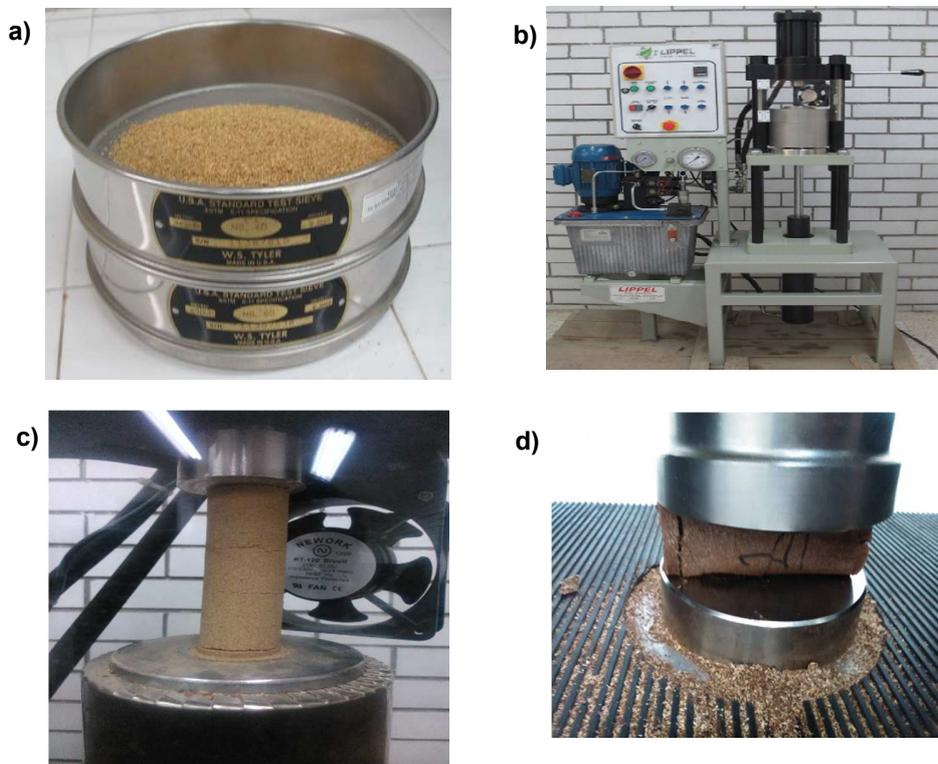
El tiempo de inflamabilidad de pellets y briquetas es similar o ligeramente superior al de la leña. La leña presenta temperaturas y tiempos de inflamabilidad muy variables, pues dependen de la existencia o no de corteza, el tipo de corteza, el porcentaje de corteza, la disposición de la leña respecto al tipo del hogar y la superficie específica de la leña. Los biocombustibles forestales que más pronto se inflaman suelen ser las astillas y el carbón vegetal (Camps y Marcos, 2008). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación es evaluar la calidad de los residuos y las propiedades físicas y mecánicas de briquetas elaboradas con residuos de *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus leiophylla* Sch. et Cham.

La densidad final de las briquetas es una variable que está en función de la especie del material base, el material empleado y del proceso de producción (Mitchual et al., 2013); de esta manera el aserrín y la corteza afectaran así como la temperatura y presión del proceso (Krizan et al., 2014). Debido a lo anterior en el presente trabajo se emplearán diferentes especies, tipo de material, temperatura y presión para determinar su efecto en la densidad.

## Materiales y métodos

### Material base

El aserrín y la corteza empleados para la elaboración de briquetas de obtuvo a partir de trozas de las especies *Pinus leiophylla* Schl. Et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl, descortezadas en un taller de secundarios de la comunidad Nuevo San Juan Parangaricutiro de Michoacán, México.



**Figura 1.** a) Cribas empleadas para dimensionar el aserrín, b) máquina briqueteadora experimental, c) briqueta recién elaborada, d) prueba mecánica de briqueta.

### **Preparación del material**

El material se trituró en un molino Thomas Model 4 Wiley® Mill y se cribó en una malla número 20, se guardó en bolsas de plástico para evitar la absorción de humedad.

### **Elaboración de briquetas**

Las briquetas se elaboraron a partir de aserrín de madera, corteza y una mezcla de madera y corteza en proporción (1:1) en una máquina briqueteadora marca LIPPEL que se muestra en la Figura 1, se utilizó un volumen de aserrín de 250 ml a tres presiones (50, 100 y 150 bares) y dos temperaturas (30 y 40 °C).

### **Densidad**

La densidad de las briquetas se determinó a partir de la longitud, diámetro y peso después de ser acondicionadas en una cámara bioclimática a un contenido de humedad relativa de 65% y 20°C.

### **Análisis estadísticos**

Con la finalidad de determinar si existe diferencias entre las variables evaluadas de cada especie a diferentes condiciones de proceso y tipo de material, los datos fueron analizados con un arreglo factorial (3X3X2) siendo los factores tipo de material (aserrín, corteza y aserrín-corteza); presión (50, 100 y 150 kg/cm<sup>2</sup>) y temperatura (30 y 40 °C), con cinco repeticiones para cada condición. Los análisis de varianza y pruebas de comparación de medias múltiples se realizaron cuando se encontraron diferencias estadísticas con un valor de significancia del 95% mediante el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico R.

## **Resultados**

Los valores medios de densidad de las briquetas reportados en las Figuras 2, 3 y 4 indican que esta fue diferente estadísticamente ( $p < 0.05$ ) en relación al tipo de material, temperatura y presión empleados para la elaboración. La especie de madera del cual provino el material no influyó de manera significativa estadísticamente ( $p > 0.05$ ) en los valores de densidad finales.

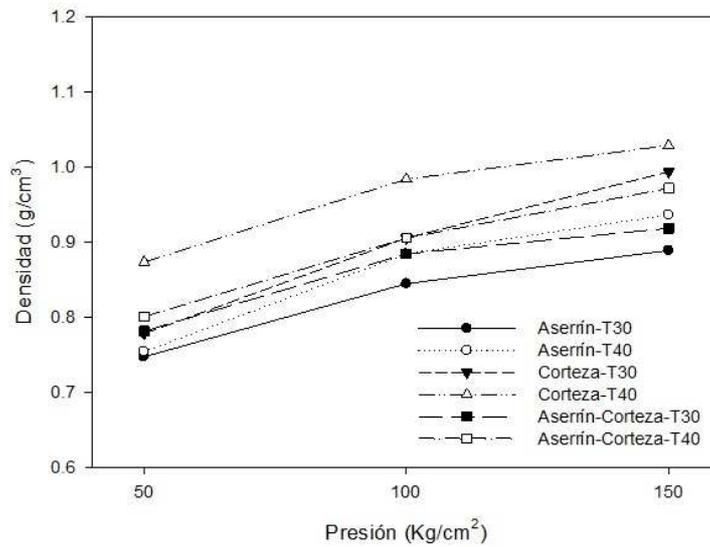


Figura 2. Valores medios y error estándar de la densidad de briquetas elaboradas a partir de aserrín, corteza y mezcla aserrín-corteza de la especie *Pinus leyophyla*.

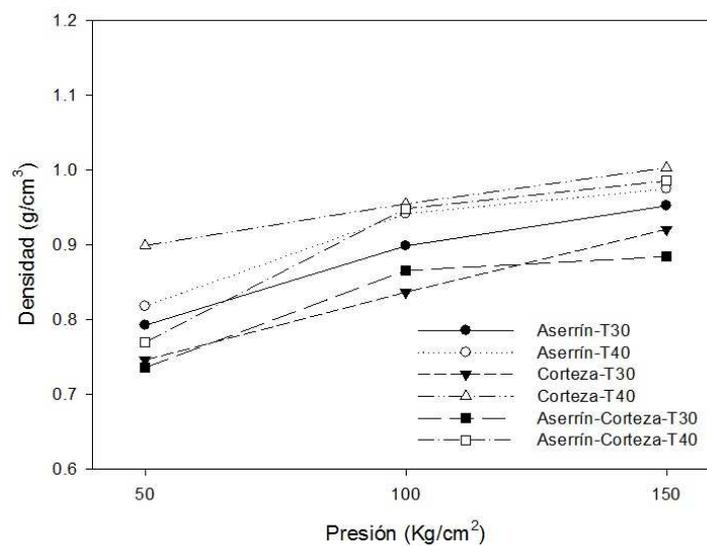


Figura 3. Valores medios y error estándar de la densidad de briquetas elaboradas a partir de aserrín, corteza y mezcla aserrín-corteza de la especie *Pinus pseudostrobus*.

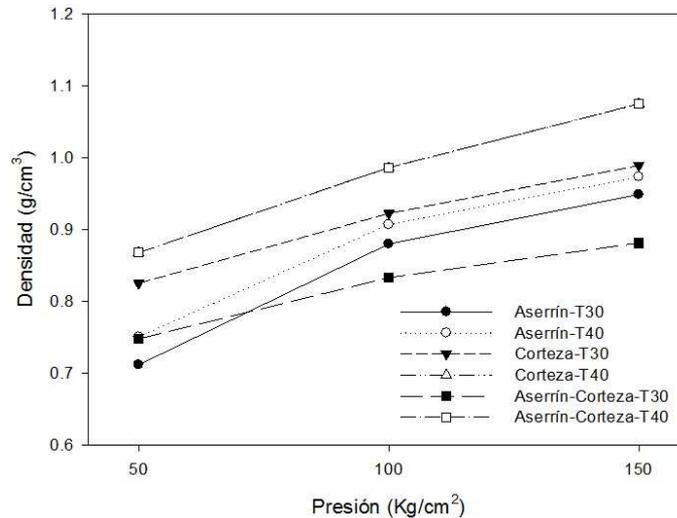


Figura 4. Valores medios y error estándar de la densidad de briquetas elaboradas a partir de aserrín, corteza y mezcla aserrín-corteza de la especie *Pinus montezumae*.

La densidad de las briquetas elaboradas con *Pinus leiophylla* presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) en la variable presión (Tabla 1). La prueba de Tukey presentó tres grupos estadísticos para las presiones 150, 100 y 50 kg/cm<sup>2</sup> cuyos valores fueron 0.96, 0.87 y 0.79 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Las variables tipo de material y temperatura no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) (Tabla 1).

La densidad de las briquetas elaboradas de la especie *Pinus montezumae* presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.0001$ ) en las variables tipo de material, presión y temperatura (Tabla 1). La prueba de Tukey para tipo de material presentó tres 2 estadísticos: en el grupo uno se encuentra el aserrín y la corteza con valores de 0.90 y 0.89 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente; en el grupo dos se encuentra la mezcla aserrín-corteza con el valor de 0.86 g/cm<sup>3</sup>. En la variable presión a 150, 100 y 50 kg/cm<sup>2</sup> se presentaron tres grupos estadísticos cuyos valores fueron 0.95, 0.91 y 0.79 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. En la variable temperatura a 30 y 40 °C se presentaron dos grupos estadísticos cuyos valores fueron 0.92 y 0.84 g/cm<sup>3</sup>.

La densidad de las briquetas elaboradas de la especie *Pinus pseudostrobus* presentó diferencias estadísticas ( $p < 0.0001$ ) en las variables tipo de material, presión y temperatura (Tabla 1). La prueba de Tukey para tipo de material presentó tres dos estadísticos, en el grupo uno se encuentra la corteza con valores de 0.94 g/cm<sup>3</sup>, en el grupo dos se encuentran el aserrín y la mezcla aserrín-corteza con

*Efecto del tipo de material, presión y temperatura en la densidad de briquetas de residuos industriales...*

valores de 0.86 y 0.85 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. En la variable presión a 150, 100 y 50 kg/cm<sup>2</sup> se presentaron tres grupos estadísticos cuyos valores fueron 0.96, 0.91 y 0.78 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. En la variable temperatura a 40 y 30 °C se presentaron dos grupos estadísticos cuyos valores fueron 0.91 y 0.86 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

**TABLA 1**

Análisis de varianza del tipo de material, presión, temperatura y sus interacciones de los residuos forestales de las especies de *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae* y *Pinus pseudostrabus*.

<i>Pinus leiophylla</i>					
Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Sig.
Tipo de Material (TM)	2	0.0438	0.0219	1.836	0.166
Presión (P)	1	0.4176	0.4176	34.987	< 0.0001
Temperatura (T)	1	0.0067	0.0067	0.565	0.454
TM:P	2	0.0027	0.0014	0.113	0.893
TM:T	2	0.0031	0.0015	0.129	0.879
TM:P:T	3	0.008	0.0027	0.225	0.879
Residuales	78	0.931	0.0119		
<i>Pinus montezumae</i>					
Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Sig.
Tipo de Material (TM)	2	0.0181	0.009	8.795	0.0004
Presión (P)	1	0.3832	0.3832	372.846	< 0.0001
Temperatura (T)	1	0.1219	0.1219	118.647	< 0.0001
TM:P	2	0.00	0.0023	2.225	0.1149
TM:T	2	0.0287	0.0144	13.964	< 0.0001
TM:P:T	3	0.0119	0.004	3.87	0.0123
Residuales	78	0.0802	0.001		
<i>Pinus pseudostrabus</i>					
Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	Sig.
Tipo de Material (TM)	2	0.1459	0.0729	80.233	< 0.0001
Presión (P)	1	0.5064	0.5064	557.101	< 0.0001
Temperatura (T)	1	0.0676	0.0676	74.333	< 0.0001
TM:P	2	0.022	0.011	12.073	< 0.0001
TM:T	2	0.007	0.0035	3.866	2.51E-02
TM:P:T	3	0.0026	0.0009	0.955	0.4118
Residuales	78	0.0709	0.0009		

\* Grados de Libertad, \*\* Valor de F, \*\*\* Significancia.

## Conclusiones

En primer lugar, la densidad de las briquetas está influenciada por el tipo de material, ya sea aserrín, corteza o mezcla de aserrín-corteza, así como por la presión y la temperatura. En segundo lugar, las especies de nuestro estudio no mostraron diferencia en la densidad de las briquetas elaboradas. De esto se deduce que existen altas posibilidades de elaborar briquetas con residuos industriales en México y que su uso podría mitigar los gases de efecto invernadero.

## Referencias

- Camps, M., Marcos, F., 2008. Los biocombustibles. Mundi-Prensa Libros, Madrid.
- Fernández, R.R. 2016. Estudio sobre las potencialidades de aserrín como materia prima en la industria forestal en Guayaquil, Ecuador. *Holos* 4.105–114.
- Hernández, M., Hernández, J. 2008. Verdades y mitos de los biocombustibles. *Elementos*, 71, 15-18.
- Holley, C.A., 1983. The densification of biomass by roll briquetting. In *Proceedings of the Institute for Briquetting and Agglomeration (IBA)*. 95–102.
- Kaliyan, N., Morey, R.V., 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and bioenergy*, 33(3), 337–359.
- Krizan, P.I., 2014. Determination of compacting pressure and pressing temperature impact on biomass briquettes density and their mutual interactions. 14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies, 1(SGEM2014 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-15-5/ISSN 1314-2704.
- Martínez, A.M.B., 2013. Estudio: cantidad y costes de aprovechamiento de la biomasa existente en el TM de Carcaixent y el estudio de viabilidad para la ejecución de una Planta de Biomasa. Tesis doctoral.
- McMullen, J.I., 2005. Storage and handling characteristics of pellets from poultry litter. *Applied Engineering in Agriculture*, 21(4), 645–651.
- Mitchual, S.J., Frimpong-Mensah, K., Darkwa, N.A., 2013. Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1–6.
- Obernberger, I., Thek, G., 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and bioenergy*, 27(6), pp.653–669.

*Efecto del tipo de material, presión y temperatura en la densidad de briquetas de residuos industriales...*

- Ortíz, L., Tejada, A., Vázquez, A., Veiras, G. P. 2004. Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. Revista CIS-Madera. Parte III Producción de elementos densificados, 17-32.
- Sánchez, J.P.P., 2015. Investigación en materia de bioenergía para la industria energética. Opción, 31(1).
- Tolosana E.E., Relaño, R., Martínez F.R., Serrano, M.M. 2013. Sistemas de aprovechamiento para uso energético de productos de claras retrasadas mecanizadas sobre plantaciones de coníferas en terreno suave en Castilla y León (España). In Congresos-CARGA FINAL.