

CONTENIDO DE HUMEDAD Y SUSTANCIAS INORGÁNICAS EN SUBPRODUCTOS MADERABLES DE PINO PARA SU USO EN PÉLETS Y BRIQUETAS

MOISTURE AND INORGANIC SUBSTANCE CONTENT IN PINE TIMBER PRODUCTS FOR USE IN PELLETS AND BRIQUETTES

Fermín Correa-Méndez¹; Artemio Carrillo-Parra²; José G. Rutiaga-Quiñones³; Francisco Márquez-Montesino⁴; Humberto González-Rodríguez²; Enrique Jurado-Ybarra²; Fortunato Garza-Ocañas².

¹Desarrollo Sustentable, Tecnologías Alternativas, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán. Carretera San Juan Tumbio-Cherán, km 16.2, C. P. 60291. Pátzcuaro, Michoacán, MÉXICO.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional núm. 85, km 145. C. P. 67700. Linares, Nuevo León, MÉXICO. Correo-e: artemio.carrillopr@uanl.edu.mx Tel.: 52 (821) 212 48 95 ext. 145 / Fax: (821) 212 64 15 (Autor para correspondencia).

³Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Fco. J. Múgica s/n, Edificio "D" planta alta, Ciudad Universitaria. C. P. 58060. Morelia, Michoacán, MÉXICO.

⁴Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Sostenibles, Universidad de Pinar del Río. Martí núm. 270. C. P. 20100. Pinar del Río, CUBA.

RESUMEN

La industria forestal de la cabecera municipal Nuevo San Juan Parangaricutiro y de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México, generan 1,232 m³·año⁻¹ de aserrín y viruta de pino que son subutilizados. El aserrín y la viruta de *Pinus leiophylla* Sch. Et Cham., *P. montezumae* Lamb. y *P. pseudostrobus* Lindl se analizaron fisicoquímicamente para determinar si reunían los requisitos para la elaboración de pélets y briquetas. El contenido de humedad, ceniza y elementos inorgánicos de los subproductos se determinaron según estándares internacionales. El contenido de humedad en aserrín fue 51.5 ± 1.9 % y 53.7 ± 0.1 % en viruta; estos valores superaron el máximo permisible. El contenido de cenizas en el aserrín y en la viruta fue 0.26 ± 0.03 % y 0.34 ± 0.03 %, respectivamente. En las tres especies evaluadas, el porcentaje medio de Ca, K, Mg, P, S, Si, Fe, Al y Na en el aserrín fue 47.1 ± 2.8, 26.0 ± 2.5, 13.5 ± 0.4, 5.0 ± 0.4, 3.2 ± 0.4, 2.3 ± 0.8, 1.0 ± 0.1, 1.3 ± 0.4 y 1.4 ± 0.3, respectivamente, mientras que el porcentaje medio de Ca, K, Mg, P, S, Si, Fe, Al y Na en la viruta fue 43.2 ± 7.0, 16.5 ± 3.0, 10.1 ± 4.8, 4.0 ± 0.6, 1.8 ± 0.2, 3.6 ± 0.3, 1.0 ± 0.6, 1.1 ± 0.1, y 1.0 ± 0.6, respectivamente. El arsénico sólo se encontró en la viruta (17.1 ± 17.1 %). De acuerdo con los resultados, el aserrín es el subproducto más adecuado para la producción de pélets y briquetas.

PALABRAS CLAVE: Aserrín, viruta, elementos inorgánicos, biocombustibles sólidos, bioenergía.

ABSTRACT

The forest industry in the municipal seat of Nuevo San Juan Parangaricutiro and the Indigenous Community of Nuevo San Juan Parangaricutiro, located in Michoacán state, Mexico, generates 1,232 m³·year⁻¹ of underutilized pine sawdust and shavings. The sawdust and shavings of *Pinus leiophylla* Sch. Et Cham., *P. montezumae* Lamb. and *P. pseudostrobus* Lindl were subjected to physicochemical analyzes to determine if they meet the requirements for pellet and briquette production. The moisture, ash, and inorganic element contents in the byproducts were determined using international standards. Moisture content in ash was 51.5 ± 1.9 %, and 53.7 ± 0.1 % in shavings; these values exceeded the maximum allowable. Ash content in sawdust and shavings was 0.26 ± 0.03 % and 0.34 ± 0.03 %, respectively. For the three species evaluated, the average percentage of calcium, potassium, magnesium, phosphorus, sulfur, silicon, iron, aluminum and sodium in sawdust was 47.1 ± 2.8, 26.0 ± 2.5, 13.5 ± 0.4, 5.0 ± 0.4, 3.2 ± 0.4, 2.3 ± 0.8, 1.0 ± 0.1, 1.3 ± 0.4 and 1.4 ± 0.3, respectively, while the average percentage was 43.2 ± 7.0, 16.5 ± 3.0, 10.1 ± 4.8, 4.0 ± 0.6, 1.8 ± 0.2, 3.6 ± 0.3, 1.0 ± 0.6, 1.1 ± 0.1 and 1.0 ± 0.6 in shavings, respectively. Arsenic was only found in the shavings (17.1 ± 17.1). Based on the results, sawdust is the most suitable byproduct for pellet and briquette production.

KEYWORDS: Sawdust, shavings, inorganic elements, solid biofuels, bioenergy.



Recibido: 18 de abril, 2013

Aceptado: 27 de enero, 2014

doi: 10.5154/r.rchscfa.2013.04.012

<http://www.chapingo.mx/revistas>

INTRODUCCIÓN

Nuevo San Juan Parangaricutiro y la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (CINSJP), del municipio de Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, México, cuentan con 33 talleres de secundarios registrados. Según estimaciones de los propietarios, los talleres generan alrededor de 1,232 m³·año⁻¹ de aserrín y viruta de pino. El taller de secundarios interno de la CINSJP genera alrededor de 375 m³·año⁻¹ de aserrín y el resto (514.2 m³·año⁻¹ de aserrín y 342.8 m³·año⁻¹ de viruta) se genera en los 32 talleres externos.

Los subproductos (aserrín y viruta) se utilizan localmente para producir composta, como fertilizantes en huertas de aguacate, y como fuente de energía en ladrilleras y en la caldera de la planta resinera. Sin embargo, la alta disponibilidad y el bajo precio de los subproductos incentiva la búsqueda de nuevas alternativas productivas. La producción de bioenergía es una opción económica y ecológicamente viable (García, Pizarro, Lavín, & Bueno, 2012); sin embargo, es necesario determinar si los subproductos cumplen con los estándares internacionales de calidad. Para ello, se requiere evaluar el contenido de humedad (CH) y algunas características físico-químicas como porcentaje de cenizas, y tipo y porcentaje de elementos inorgánicos (García et al., 2012; Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, & Morgan, 2012).

El contenido alto de humedad (mayor de 25 %) de los subproductos provoca la reducción del poder calorífico neto, de la eficiencia en la combustión y de la temperatura generada (García et al., 2012; Obernberger & Thek, 2004, 2010). Por otra parte, con los contenidos elevados de cenizas (mayores de 0.7 %) se requiere limpieza constante de los equipos de combustión (Obernberger & Thek, 2010). Altos valores de elementos inorgánicos pueden generar que las partículas se dispersen y se adhieran en el interior de los intercambiadores de calor y plantas de generación de energía; a largo plazo, pueden obstruir el canal de gases de combustión e inducir la corrosión de los hornos, reactores, turbinas y dispositivos de control de emisiones (Liu & Bi, 2011; Werkelin, Lindberg, Boström, Skrifvars, & Hupa, 2011).

Conocer las propiedades de los subproductos forestales, señaladas anteriormente, y las concentraciones de los elementos que conforman la ceniza es de vital importancia para la generación de energía (Werkelin, Skrifvars, Zevenhoven, Holmbom, & Hupa, 2010). En consecuencia, los objetivos de este estudio fueron determinar el CH inicial y el porcentaje de cenizas del aserrín y la viruta de *Pinus leiophylla* Sch. Et Cham., *P. montezumae* Lamb. y *P. pseudostrobus* Lindl, así como hacer un microanálisis de las cenizas de dichos subproductos para su posible uso en pélets y briquetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de los subproductos

La calidad del aserrín y la viruta de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* se analizaron por ser las especies

INTRODUCTION

Nuevo San Juan Parangaricutiro and the Indigenous Community of Nuevo San Juan Parangaricutiro (hereafter referred to by its Spanish acronym CINSJP), located in the municipality of Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, Mexico, have 33 registered secondary workshops. According to estimates by the owners, the workshops generate about 1,232 m³·year⁻¹ of pine sawdust and shavings. The CINSJP internal secondary workshop generates about 375 m³·year⁻¹ of sawdust and the rest (514.2 m³·year⁻¹ of sawdust and 342.8 m³·year⁻¹ of shavings) is generated in the 32 external workshops.

The byproducts (sawdust and shavings) are used locally to produce compost, as fertilizers in avocado orchards, and as an energy source in brick factories and in the resin plant boiler. However, the high availability and low price of these byproducts is prompting the search for new productive alternatives. Bioenergy production is an economically and environmentally viable option (García, Pizarro, Lavín, & Bueno, 2012), but it is necessary to determine whether the products meet international quality standards. This requires evaluating the moisture content (MC) and some physico-chemical characteristics such as ash percentage and the type and percentage of inorganic elements (García et al., 2012; Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, & Morgan, 2012).

High moisture content (over 25 %) in byproducts reduces net calorific value, combustion efficiency and temperature generated (García et al., 2012; Obernberger & Thek, 2004, 2010). On the other hand, with high ash content (over 0.7 %) combustion equipment needs to be constantly cleaned (Obernberger & Thek, 2010). High inorganic element levels can result in the particles dispersing and adhering to the inside of heat exchangers and power generation plants; in the long term, they can clog the combustion gas exhaust and induce corrosion of furnaces, reactors, turbines and emission control devices (Liu & Bi, 2011; Werkelin, Lindberg, Boström, Skrifvars, & Hupa, 2011).

Knowing the above-mentioned properties of forest products and the concentrations of the elements that make up the ash is of utmost importance for power generation (Werkelin, Skrifvars, Zevenhoven, Holmbom, & Hupa, 2010). Consequently, the objectives of this study were to determine the initial MC and the ash percentage in the sawdust and shavings of *Pinus leiophylla* Sch. Et Cham., *P. montezumae* Lamb. and *P. pseudostrobus* Lindl, and carry out a microanalysis of the ash in these byproducts to determine the feasibility of using them in pellet and briquette production.

MATERIALS AND METHODS

Origen de byproducts

The quality of the sawdust and shavings of *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus* was analyzed because

con mayor volumen aprovechado. El aserrín y la viruta se obtuvieron después de identificar cada troza según la especie. El aserrín se generó con una sierra cinta de 2 in de ancho y 6.27 m de longitud con volante de 1 m de diámetro y motor de 15 hp; y la viruta, a partir de una máquina ranuradora con motor SIEMENS de 10 hp. El muestreo se hizo hasta que se colectó, aproximadamente, 0.02 m³ de cada subproducto durante un turno de ocho h. La maquinaria utilizada se encuentra en los talleres de secundarios en Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, México.

Contenido de humedad, cenizas y elementos inorgánicos en aserrín y viruta de *P. leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*

El CH inicial (%) se determinó con base en la norma UNE-EN 14774-3 (2010) y el porcentaje de cenizas, de acuerdo con la norma UNE-EN 14775 (2010). Los elementos constitutivos de las cenizas se identificaron y cuantificaron bajo el procedimiento establecido por Bahng, Mukarakate, Robichaud, y Nimlos (2009) y Téllez, Ochoa, Sanjuan, y Rutiaga (2010). Para ello, se utilizó un espectrómetro de dispersión de rayos X (Bruker AXS, Alemania) acoplado a un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM-6400, Japón); las condiciones de análisis fueron 15 kV y 30 s.

Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de normalidad en los datos de CH, contenido de cenizas y elementos inorgánicos. Los datos de Mg, P, Fe y Na se transformaron con X^2 y los datos de Al con $\sqrt{x+1}$. La normalidad se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk (1965) utilizando el programa PASW Statistics 18 (SPSS, 2009). El CH, cenizas y elementos inorgánicos (Ca, K, Mg, P, S, Si y Na) se analizaron mediante un modelo lineal general univariado de dos factores: el factor "especie" con tres niveles (*P. leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*) y factor "subproducto" con dos niveles (aserrín y viruta). El Fe se analizó con el factor "especie" con dos niveles (*P. leiophylla* y *P. pseudostrobus*) y el factor "subproducto" con dos niveles (aserrín y viruta); el elemento Al con un factor de la relación "especie-subproducto". El As se analizó sólo con el factor "especie". Se utilizaron pruebas de Tukey para realizar comparaciones múltiples de las medias. Los análisis estadísticos se hicieron con un nivel de confiabilidad de 95 % y se procesaron con el programa Minitab (Minitab Inc. 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de humedad

El CH en el aserrín y en la viruta fue de 51.5 ± 1.9 % y 53.7 ± 0.1 %, respectivamente (Figura 1a). Estos resultados están dentro del rango (10 a 60 %) reportado para biomasa por Vassilev, Baxter, Andersen, y Vassileva (2010). El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el CH entre las especies ($F = 2.51$, $gl_e = 2,17$ $P = 0.111$) ni entre los subproductos ($F = 2.10$, $gl_e = 1,17$, $P = 0.165$), de

these species have the highest harvested volume. Sawdust and shavings were obtained after each log was identified by species. Sawdust was generated with a 2-inch wide by 6.27-m long band saw, with a 1-m diameter flywheel and a 15-hp engine, and the shavings with a grinding machine with a 10-hp SIEMENS motor. Sampling was done until about 0.02 m³ of each byproduct was collected during an eight-hour shift. Machinery in the secondary workshops in Nuevo Parangaricutiro, Michoacán, Mexico, was used.

Moisture, ash and inorganic element contents in sawdust and shavings of *P. leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus*

Initial MC (%) was determined based on standard UNE-EN 14774-3 (2010) and ash percentage according to standard UNE-EN 14775 (2010). Ash components were identified and quantified under the procedure established by Bahng, Mukarakate, Robichaud, and Nimlos (2009) and Téllez, Ochoa, Sanjuan, and Rutiaga (2010). For this, a X-ray scattering spectrometer (Bruker AXS, Germany) coupled to a scanning electron microscope (JEOL JSM-6400, Japan) were used; the analysis conditions were 15 kV and 30 s.

Statistical analysis

The normality test was applied to the moisture, ash and inorganic element data. The Mg, P, Fe and Na data were transformed with X^2 and the Al data with $\sqrt{x+1}$. Normality was checked with the Shapiro-Wilk test (1965) using PASW Statistics 18 software (SPSS, 2009). The MC, ash and inorganic elements (Ca, K, Mg, P, S, Si and Na) were analyzed using a univariate general linear model with two factors: the "species" factor with three levels (*P. leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus*) and the "byproduct" factor with two levels (sawdust and shavings). The Fe was analyzed with the "species" factor with two levels (*P. leiophylla* and *P. pseudostrobus*) and the "byproduct" factor with two levels (sawdust and shavings), whereas the Al element was analyzed with a factor of the "species-byproduct" relationship. The As was analyzed only with the "species" factor. Tukey tests were used to perform multiple comparisons of means. Statistical analyzes were performed with a 95 % confidence level and processed using Minitab software (Minitab Inc. 2010).

RESULTS AND DISCUSSION

Moisture content

The MC in sawdust and shavings was 51.5 ± 1.9 % and 53.7 ± 0.1 %, respectively (Figure 1a). These results are within the range (10 to 60 %) reported for biomass by Vassilev, Baxter, Andersen, and Vassileva (2010). The analysis did not show significant statistical differences in MC among species ($F = 2.51$, $df_e = 2,17$ $P = 0.111$) or by-products ($F = 2.10$, $df_e = 1,17$, $P = 0.165$); likewise, there

CUADRO 1. Valores encontrados y límites permitidos de contenido de humedad (CH) y ceniza de subproductos de la industria forestal de tres especies de pino, para su uso en pélets y briquetas.

Prueba	Especies						Pélets	Briquetas	Efecto en la industria de biocombustibles
	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus montezumae</i>		<i>Pinus pseudostrobus</i>		A1		
	Aserrín	Viruta	Aserrín	Viruta	Aserrín	Viruta	Valor límite (%) ¹	Valor límite (%) ²	
CH (%)	49.6 ± 2.77 a	52.8 ± 0.13 a	48.9 ± 0.25 a	54.1 ± 0.06 a	56.0 ± 2.67 a	54.1 ± 0.01 a	10.0	18.0	Altos valores de CH afectan el balance de energía ³ .
Ceniza (%)	0.30 ± 0.03 b	0.35 ± 0.01 a	0.22 ± 0.01 b	0.36 ± 0.02 a	0.24 ± 0.04 b	0.31 ± 0.05 a	0.70	0.50	Contenido elevado de ceniza del combustible puede afectar el equipo de combustión y a los usuarios del sector residencial por aumentar los procesos de limpieza ¹ .

± Error estándar de la media (n = 2). Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa (Tukey, P ≥ 0.05) en el CH y ceniza entre subproductos. El CH y ceniza no fueron estadísticamente diferentes (Tukey, P ≥ 0.05) entre especies.

¹Obernberger y Thek (2010), ²ÖNORM M 7135 (2000), ³Miranda, Arranz, Rojas, y Montero (2009).

TABLE 1. Values found and allowable limits of moisture content (MC) and ash in forest industry byproducts of three pine species, for use in pellets and briquettes.

Test	Species						Pellets	Briquettes	Effect on the biofuels industry
	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus montezumae</i>		<i>Pinus pseudostrobus</i>		A1		
	Sawdust	Shavings	Sawdust	Shavings	Sawdust	Shavings	Limit value (%) ¹	Limit value (%) ²	
MC (%)	49.6 ± 2.77 a	52.8 ± 0.13 a	48.9 ± 0.25 a	54.1 ± 0.06 a	56.0 ± 2.67 a	54.1 ± 0.01 a	10.0	18.0	High MC values affect the energy balance ³ .
Ash (%)	0.30 ± 0.03 b	0.35 ± 0.01 a	0.22 ± 0.01 b	0.36 ± 0.02 a	0.24 ± 0.04 b	0.31 ± 0.05 a	0.70	0.50	High ash content in the fuel can affect combustion equipment and residential sector users by increasing cleaning processes ¹ .

± Standard error of the mean (n = 2). Same letters indicate that there is no statistically significant difference (Tukey, ≥ 0.05) in MC and ash between byproducts. The MC and ash were not statistically different (Tukey, P ≥ 0.05) among species.

¹Obernberger and Thek (2010), ²ÖNORM M 7135 (2000), ³Miranda, Arranz, Rojas, and Montero (2009).

igual manera no hubo interacción entre los factores especie y subproductos ($F = 2.06$, $gl_e = 2,17$, $P = 0.158$). En el Cuadro 1 se comparan los valores encontrados de CH en los subproductos y los máximos permitidos para su aplicación en pélets y briquetas. Acorde con los resultados, los CH fueron mayores a los permitidos requiriendo aplicar energía para el secado de los subproductos.

Contenido de ceniza

El contenido de cenizas en el aserrín y en la viruta fue $0.26 \pm 0.03 \%$ y $0.34 \pm 0.03 \%$, respectivamente. Los valores de cenizas de cada especie y los permitidos por los estándares para pélets y briquetas se muestran en el Cuadro 1. Los porcentajes de ceniza son inferiores a los permitidos, por tanto, el aserrín y la viruta de las tres coníferas son adecuados para producir pélets y briquetas. Los resultados concuerdan con valores de 0.1 a 1.0 % en algunas coníferas, reportados por Fengel y Wegener (1984). El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de ceniza entre las especies ($F = 1.01$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.392$), lo opuesto ocurrió entre el aserrín y viruta ($F = 8.81$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.012$) (Figura 1b). Este resultado puede estar relacionado con el aumento de elementos inorgánicos que suelen adherirse durante el manejo de trozas y procesamiento (Obernberger & Thek, 2010), utilizando sierras y cuchillas (Van Lith, Alonso, Jensen, Frandsen, & Glarborg, 2006). La interacción entre especies y subproductos no fue significativa ($F = 0.86$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.448$). El porcentaje de ceniza en los subproductos de las tres especies es menor al contenido de ceniza (0.4 a 0.8 %) en maderas suaves, reportado por Obernberger y Thek (2010).

was no interaction between species and byproduct factors ($F = 2.06$, $df_e = 2,17$, $P = 0.158$). Table 1 compares the MC values found in the byproducts and the maximum levels allowed for use in pellets and briquettes. Based on the results, the MC values were higher than those allowed; therefore, energy needs to be applied to dry the byproducts.

Ash content

Ash content in sawdust and shavings was $0.26 \pm 0.03 \%$ and $0.34 \pm 0.03 \%$, respectively. Ash values of each species and those permitted by the standards for pellets and briquettes are shown in Table 1. Ash percentages are lower than the maximum levels permitted; therefore, the sawdust and shavings of the three conifers are suitable for producing pellets and briquettes. The results are consistent with values of 0.1 to 1.0 % in some conifers, reported by Fengel and Wegener (1984). The analysis showed no statistically significant differences in ash content among species ($F = 1.01$, $df_e = 2,12$, $P = 0.392$); the opposite occurred between sawdust and shavings ($F = 8.81$, $df_e = 1,12$, $P = 0.012$) (Figure 1b). This result can be related to the increase in inorganic elements that tend to adhere to logs during their handling and processing (Obernberger & Thek, 2010) using saws and blades (Van Lith, Alonso, Jensen, Frandsen, & Glarborg, 2006). The interaction between species and byproducts was not significant ($F = 0.86$, $df_e = 2,12$, $P = 0.448$). Ash percentage in the byproducts of the three species is less than the ash content (0.4 to 0.8 %) in soft woods, reported by Obernberger and Thek (2010).

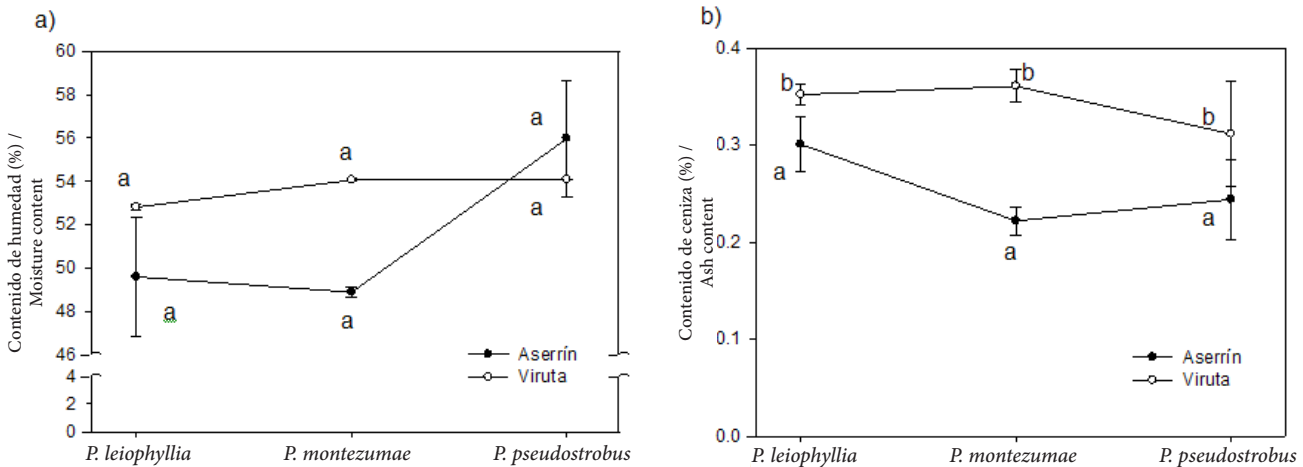


FIGURA 1. Contenido de humedad (a) y ceniza (b) en subproductos de la industria forestal de las especies *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. Las barras indican error estándar de la media. Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P \geq 0.05$) entre subproductos.

FIGURE 1. Moisture (a) and ash (b) contents in forest industry byproducts of the species *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus*. Bars indicate standard error of the mean. Same letters indicate no statistically significant difference (Tukey, $P \geq 0.05$) between byproducts.

Elementos inorgánicos en cenizas

Calcio

Las cenizas de aserrín y viruta tuvieron $47.2 \pm 2.9 \%$ y $43.3 \pm 7.0 \%$ de Ca, respectivamente. Revilla (2011) reportó valores cercanos (44.2 a 59.1 %) en madera de las especies *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana*. El contenido de Ca y el de otros elementos identificados en los subproductos se muestran en el Cuadro 2. El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de Ca del aserrín y viruta entre las especies ($F = 1.79$, $gl_e = 2,12$ $P = 0.208$) ni entre los subproductos ($F = 1.04$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.327$) (Figura 2). La interacción entre especies y subproductos no fue significativa ($F = 0.51$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.614$). En el Cuadro 2 también se presenta el valor permitido y se indica el efecto que los subproductos pueden ocasionar en la generación de energía en forma de pélets y briquetas.

Inorganic elements in ash

Calcium.

The ash in sawdust and shavings had $47.2 \pm 2.9 \%$ and $43.3 \pm 7.0 \%$ Ca, respectively. Revilla (2011) reported similar values (44.2 to 59.1 %) in wood of the species *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana*. The Ca content and that of other elements identified in the byproducts are shown in Table 2. The analysis showed no statistically significant differences in the Ca content of sawdust and shavings among species ($F = 1.79$, $df_e = 2,12$ $P = 0.208$) or between byproducts ($F = 1.04$, $df_e = 1,12$, $P = 0.327$) (Figure 2). The interaction between species and byproducts was not significant ($F = 0.51$, $df_e = 2,12$, $P = 0.614$). Table 2 also presents the allowed value and indicates the effect that the byproducts may have on energy generation in the form of pellets and briquettes.

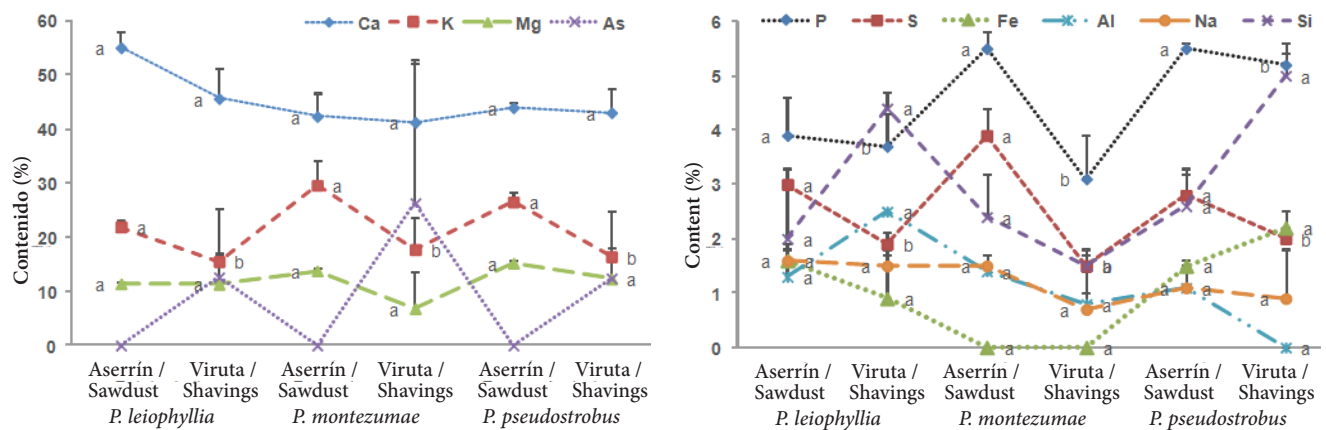


FIGURA 2. Elementos inorgánicos en subproductos de la industria forestal de las especies *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. Las barras indican error estándar de la media. Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $P \geq 0.05$) entre subproductos.

FIGURE 2. Inorganic elements in forest industry byproducts of the species *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus*. Bars indicate standard error of the mean. Same letters indicate no statistically significant difference (Tukey, $P \geq 0.05$) between byproducts.

Potasio

El contenido de K en las cenizas del aserrín y viruta fue $26.0 \pm 2.5 \%$ y $16.5 \pm 3.0 \%$, respectivamente. Revilla (2011) reportó valores similares (19.3 a 36.2 %) en las maderas de *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana*. El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de K entre las especies ($F = 1.05$, $gl_e = 2,12$ $P = 0.380$), pero sí hubo diferencias estadísticas entre los subproductos ($F = 11.43$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.005$) (Figura 2), lo cual puede ser a causa del aumento en otros elementos como Si, Fe, Al, entre otros, y por los contaminantes (diesel, desgaste en sierras o cuchillas) de las máquinas al procesar la madera. No hubo interacción entre especies y subproductos ($F = 0.34$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.717$).

Potassium

The K content in the sawdust and shavings ash was $26.0 \pm 2.5 \%$ and $16.5 \pm 3.0 \%$, respectively. Revilla (2011) reported similar values (19.3 to 36.2 %) in the wood of *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana*. The analysis showed no statistically significant differences in K content among species ($F = 1.05$, $df_e = 2,12$ $P = 0.380$), but there were statistical differences between byproducts ($F = 11.43$, $df_e = 1,12$, $P = 0.005$) (Figure 2), which could be due to an increase in other elements such as Si, Fe, and Al, among others, and contaminants (diesel, wear on saws or blades) in the wood processing machines. There was no interaction between species and byproducts ($F = 0.34$, $df_e = 2,12$, $P = 0.717$).

CUADRO 2. Elementos inorgánicos encontrados en el aserrín y en la viruta de tres especies de pino y valores de referencia.

Elemento	Especie, subproducto y valor (%)						Valor de referencia	Efecto en la industria de biocombustibles
	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus montezumae</i>		<i>Pinus pseudostrabus</i>			
	Aserrín	Viruta	Aserrín	Viruta	Aserrín	Viruta		
Calcio	55.0 ± 3.1 a	45.6 ± 5.6 a	42.8 ± 4.4 a	41.2 ± 10.9 a	43.9 ± 1.0 a	43.0 ± 4.4 a	33 % ¹	Alto contenido de Ca aumenta el punto de fusión de la ceniza y reduce la cantidad de la misma en los equipos ⁴ .
Potasio	21.9 ± 1.1 a	15.5 ± 1.5 b	29.6 ± 4.5 a	17.7 ± 5.9 b	26.5 ± 1.8 a	16.4 ± 1.6 b	4 % ¹	Altos valores de K disminuyen el punto de fusión de la ceniza, lo cual puede causar escoria y formación de depósitos duros en hornos y calderas. Los altos niveles también pueden aumentar la cantidad de aerosoles formados durante la combustión que pueden ensuciar las calderas y presentar emisiones de partículas finas ^{2,3}
Magnesio	11.4 ± 0.3 a	11.3 ± 3.4 a	13.8 ± 0.3 a	6.8 ± 6.8 a	15.2 ± 0.5 a	12.9 ± 4.1 a	2 % ¹	Alto porcentaje de Mg favorece el aumento del punto de fusión de la ceniza ⁴ .
Fósforo	3.9 ± 0.7 a	3.7 ± 0.6 b	5.5 ± 0.3 a	3.1 ± 0.8 b	5.5 ± 0.1 a	5.2 ± 0.4 b	1.4 % ¹	Altos valores de P afectan el proceso de combustión, debido a que el elemento es semi-volátil y puede causar problemas en la fusión de la ceniza al formar fosfatos ⁴ .
Azufre	3.0 ± 0.3 a	1.9 ± 0.2 b	3.9 ± 0.5 a	1.5 ± 0.3 b	2.8 ± 0.4 a	2.0 ± 0.2 b	Pélets Clase A1 y A2 ≤ 0.03 % Clase B ≤ 0.04 % ⁴ Briquetas ≤ 0.04 % ⁵	Altas cantidades de S pueden causar problemas por emisiones de SOx, formación de depósitos y corrosión ² .
Sodio	1.6 ± 0.2 a	1.5 ± 0.2 a	1.5 ± 0.2 a	0.7 ± 0.7 a	1.1 ± 0.4 a	0.9 ± 0.9 a	0.5 % ¹	Valores altos de Na reducen el punto de fusión de la ceniza ⁴ , favoreciendo la formación de depósitos cuando los vapores se condensan al interior de la tubería en el equipo de combustión ⁶ .
Arsénico	N. D.	12.6 ± 12.6	N. D.	26.3 ± 26.3	N.D.	12.4 ± 12.4	Pélets ≤ 1 % ⁴	La presencia del As puede ser un problema de salud debido a que existe la posibilidad de contaminación del suelo y aguas subterráneas ⁷ .

± Error estándar de la media, n = 2. N. D.= No detectado. Letras iguales indican que no hay diferencia estadísticamente significativa (Tukey, P≥0.05) entre subproductos.

¹Campbell (1990), ²Obernberger y Thek (2004), ³Van Lith et al. (2006), ⁴Obernberger y Thek (2010), ⁵ÖNORM M 7135 (2000), ⁶Werkelin et al. (2011),

⁷Khan, Solo-Gabriele, Dubey, Townsend, y Cai (2004).

TABLE 2. Inorganic elements found in the sawdust and shavings of three pine species and reference values.

Element	Species, byproduct and value (%)						Reference value	Effect on the biofuels industry
	<i>Pinus leiophylla</i>		<i>Pinus montezumae</i>		<i>Pinus pseudostrobus</i>			
	Sawdust	Shavings	Sawdust	Shavings	Sawdust	Shavings		
Calcium	55.0 ± 3.1 a	45.6 ± 5.6 a	42.8 ± 4.4 a	41.2 ± 10.9 a	43.9 ± 1.0 a	43.0 ± 4.4 a	33 % ¹	High Ca content increases the melting point of ash and reduces the amount thereof in the equipment ⁴ .
Potassium	21.9 ± 1.1 a	15.5 ± 1.5 b	29.6 ± 4.5 a	17.7 ± 5.9 b	26.5 ± 1.8 a	16.4 ± 1.6 b	4 % ¹	High K values decrease the melting point of ash, which can cause slag and formation of hard deposits in furnaces and boilers. High levels can also increase the amount of aerosols formed during combustion, which can foul boilers and result in emissions of fine particles ^{2,3} .
Magnesium	11.4 ± 0.3 a	11.3 ± 3.4 a	13.8 ± 0.3 a	6.8 ± 6.8 a	15.2 ± 0.5 a	12.9 ± 4.1 a	2 % ¹	High Mg percentage tends to increase the melting point of ash ⁴ .
Phosphorous	3.9 ± 0.7 a	3.7 ± 0.6 b	5.5 ± 0.3 a	3.1 ± 0.8 b	5.5 ± 0.1 a	5.2 ± 0.4 b	1.4 % ¹	High P values affect the combustion process, since the element is semi-volatile and can cause problems in melting ash by forming phosphates ⁴ .
Sulfur	3.0 ± 0.3 a	1.9 ± 0.2 b	3.9 ± 0.5 a	1.5 ± 0.3 b	2.8 ± 0.4 a	2.0 ± 0.2 b	Pellets Class A1 and A2 ≤ 0.03 % Class B ≤ 0.04 % ⁴ Briquettes ≤ 0.04 % ⁵	High S amounts can cause problems in terms of SOx emissions, formation of deposits and corrosion ² .
Sodium	1.6 ± 0.2 a	1.5 ± 0.2 a	1.5 ± 0.2 a	0.7 ± 0.7 a	1.1 ± 0.4 a	0.9 ± 0.9 a	0.5 % ¹	High Na values reduce the melting point of ash ⁴ , favoring the formation of deposits when the vapors condense inside the combustion equipment piping ⁶ .
Arsenic	N. D.	12.6 ± 12.6	N. D.	26.3 ± 26.3	N.D.	12.4 ± 12.4	Pellets ≤ 1 % ⁴	The presence of As can be a health concern because of the possibility of soil and groundwater contamination ⁷ .

± Standard error of the mean, n = 2. N. D.= Not detected. Same letters indicate that there is no statistically significant difference (Tukey, P ≥ 0.05) between byproducts.

¹Campbell (1990), ²Obernberger and Thek (2004), ³Van Lith et al. (2006), ⁴Obernberger and Thek (2010), ⁵ÖNORM M 7135 (2000), ⁶Werkelin et al. (2011), ⁷Khan, Solo-Gabriele, Dubey, Townsend, and Cai (2004).

Magnesio

El contenido de Mg en las cenizas del aserrín y la viruta fue $13.5 \pm 0.4 \%$ y $10.3 \pm 4.8 \%$, respectivamente. Valores similares (12.9 a 19.2%) se encontraron en las maderas de *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana* (Revilla, 2011). El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de Mg entre las especies ($F = 1.82$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.203$) ni entre los subproductos ($F = 1.82$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.202$) (Figura 2). La interacción entre especies y subproductos ($F = 0.80$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.473$) no fue significativa.

Fósforo

El contenido de P en las cenizas del aserrín fue $4.9 \pm 0.3 \%$ y en la viruta fue $4.0 \pm 0.6 \%$. Revilla (2011) reportó valores aproximados (1.0 a 4.3%) en la madera de las especies *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana*. El análisis mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de P en el aserrín y viruta entre las especies ($F = 4.83$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.029$). Este resultado es similar al reportado por Lambert (1981), quien indica que la variabilidad entre las especies es muy alta, además de que existe dependencia de los sitios con estatus nutricionales ampliamente diferentes. También se encontraron diferencias entre los subproductos ($F = 5.65$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.035$) (Figura 2), pero no hubo interacción entre especies y subproductos ($F = 2.76$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.103$).

Azufre

Las cenizas del aserrín y la viruta tuvieron contenidos de $3.2 \pm 0.4 \%$ y $1.8 \pm 0.2 \%$ de S, respectivamente. Téllez et al. (2010) reportaron un valor intermedio de 2.64% de S en el duramen de *Andira inermis*, respecto a los valores medios aquí encontrados. El contenido de S entre las especies no fue estadísticamente diferente ($F = 0.30$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.743$), mientras que el contenido de S en el aserrín y la viruta si lo fue ($F = 15.56$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.002$) (Figura 2). El proceso de obtención de estos subproductos pudo ser la causa de dicho efecto. No hubo interacción entre especies y subproductos ($F = 1.71$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.223$).

Silicio

El contenido de Si en las cenizas de aserrín fue $2.3 \pm 0.8 \%$ y en la viruta fue $3.6 \pm 0.3 \%$. Estos valores medios se ubican en el rango (0.5 a 4.7%) reportado por Revilla (2011) en *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana*. El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de Si entre las especies ($F = 2.19$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.154$) ni entre los subproductos ($F = 3.08$, $gl_e = 1,12$, $P = 0.105$) (Figura 2). De igual manera que en los elementos anteriores, no hubo interacción entre especies y subproductos ($F = 2.15$, $gl_e = 2,12$, $P = 0.160$).

Magnesium

The Mg content in the sawdust and shavings ash was $13.5 \pm 0.4 \%$ and $10.3 \pm 4.8 \%$, respectively. Similar values (12.9 to 19.2%) were found in the wood of *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana* (Revilla, 2011). The analysis showed no significant statistical differences in Mg content among species ($F = 1.82$, $df_e = 2,12$, $P = 0.203$) or between byproducts ($F = 1.82$, $df_e = 1,12$, $P = 0.202$) (Figure 2). The interaction between species and byproducts ($F = 0.80$, $df_e = 2,12$, $P = 0.473$) was not significant.

Phosphorous

The P content was $4.9 \pm 0.3 \%$ in the sawdust ash and $4.0 \pm 0.6 \%$ in the shavings ash. Revilla (2011) reported immediate values (1.0 to 4.3%) in the wood of the species *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana*. The analysis showed significant statistical differences in P content in sawdust and shavings among species ($F = 4.83$, $df_e = 2,12$, $P = 0.029$). This result is similar to that reported by Lambert (1981), who indicates that variability is higher for particular species across different sites with widely differing nutritional status. There were also differences between the byproducts ($F = 5.65$, $df_e = 1,12$, $P = 0.035$) (Figure 2), but there was no interaction between species and byproducts ($F = 2.76$, $df_e = 2,12$, $P = 0.103$).

Sulfur

The S content in the sawdust and shavings ash was $3.2 \pm 0.4 \%$ and $1.8 \pm 0.2 \%$, respectively. Téllez et al. (2010) reported an intermediate value of 2.64% S in the hardwood of *Andira inermis*, compared to the average values found here. S content among species was not statistically different ($F = 0.30$, $df_e = 2,12$, $P = 0.743$), while it was between the sawdust and shavings ($F = 15.56$, $df_e = 1,12$, $P = 0.002$) (Figure 2). The process of obtaining these byproducts could be the cause of this effect. There was no interaction between species and byproducts ($F = 1.71$, $df_e = 2,12$, $P = 0.223$).

Silicon

The Si content in the sawdust and shavings ash was $2.3 \pm 0.8 \%$ and $3.6 \pm 0.3 \%$, respectively. These average values are within the range (0.5 to 4.7%) reported by Revilla (2011) in *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana*. The analysis showed no significant statistical differences in S content among the species ($F = 2.19$, $df_e = 2,12$, $P = 0.154$) or between the byproducts ($F = 3.08$, $df_e = 1,12$, $P = 0.105$) (Figure 2). As in the case of the above elements, there was no interaction between species and byproducts ($F = 2.15$, $df_e = 2,12$, $P = 0.160$).

Fierro

El contenido de Fe en las cenizas del aserrín y la viruta fue 1.5 ± 0.2 % y 1.6 ± 0.6 %, respectivamente. Werkelin et al. (2011) reportaron un valor aproximado de 0.32 % en madera de *Picea abies* (L.) H. Karst. Los contenidos de Fe del aserrín y viruta, entre las especies ($F = 2.55$, $gl_e = 1,6$, $P = 0.162$) y entre los subproductos ($F = 1.17$, $gl_e = 1,6$, $P = 0.320$), no fueron estadísticamente diferentes (Figura 2). La interacción entre especies y subproductos ($F = 4.55$, $gl_e = 1,6$, $P = 0.077$) no fue significativa.

Aluminio

El contenido de Al en las cenizas del aserrín y la viruta fue 1.2 ± 0.4 % y 1.7 ± 0.1 %, respectivamente. Revilla (2011) analizó la madera de *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana* y reportó valores cercanos (0.3 a 0.9 %). No hubo diferencias estadísticas significativas en los contenidos de Al del aserrín y viruta entre las especies ($F = 0.65$, $gl_e = 2,13$, $P = 0.540$) ni entre los subproductos ($F = 0.62$, $gl_e = 1,14$, $P = 0.444$) (Figura 2). La interacción entre especies y subproductos ($F = 1.12$, $gl_e = 4,11$, $P = 0.398$) no fue significativa.

Sodio

Las cenizas del aserrín y viruta tuvieron 1.4 ± 0.3 % y 1.0 ± 0.6 % de Na, respectivamente. Estos valores medios se aproximan al límite inferior del rango (2.0 a 4.4 %) reportado por Revilla (2011), al analizar madera de *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* y *P. pinceana*. El análisis no mostró diferencias estadísticas significativas en el contenido de Na entre las especies ($F = 0.46$, $gl_e = 2,8$, $P = 0.648$) ni entre los subproductos ($F = 0.39$, $gl_e = 1,8$, $P = 0.549$) (Figura 2). Tampoco hubo interacción entre especies y subproductos ($F = 0.46$, $gl_e = 2,8$, $P = 0.645$).

Arsénico

Las cenizas de la viruta tuvieron, en promedio, 17.1 ± 17.1 % de As, mientras que en el aserrín no se encontró dicho elemento. El As (elemento tóxico) es un elemento natural distribuido ampliamente en la corteza terrestre. El As se encuentra en el suelo y en los minerales; puede ser arrastrado por el aire y llegar al agua en efluente de lluvia, y a los suelos desde otros sectores como el polvo de la madera (aserrín); también puede liberarse cuando se quema madera tratada con As combinado con Cu y Cr (compuesto inorgánico). En forma orgánica, el As se usa en plaguicidas para huertos frutales (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007; Granifo, 2009). En este aspecto, existen plantaciones de aguacate distribuidas ampliamente alrededor de las industrias maderables donde se obtuvo la viruta. También pueden encontrarse, de forma natural, altas cantidades de As en las rocas (ATSDR, 2007), las cuales, independientemente de su contenido, son abundantes debido

Iron

The Fe content in sawdust and shavings ash was 1.5 ± 0.2 % and 1.6 ± 0.6 %, respectively. Werkelin et al. (2011) reported an immediate value of 0.32 % in wood of *Picea abies* (L.) H. Karst. The Fe contents in the sawdust and shavings, among species ($F = 2.55$, $df_e = 1,6$, $P = 0.162$) and between byproducts ($F = 1.17$, $df_e = 1,6$, $P = 0.320$), were not statistically different (Figure 2). The interaction between species and byproducts ($F = 4.55$, $df_e = 1,6$, $P = 0.077$) was not significant.

Aluminum

The Al content in sawdust and shavings ash was 1.2 ± 0.4 % and 1.7 ± 0.1 %, respectively. Revilla (2011) analyzed the wood of *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana* and reported similar values (0.3 to 0.9 %). There were no statistically significant differences in Al content in sawdust and shavings among species ($F = 0.65$, $df_e = 2,13$, $P = 0.540$) or between byproducts ($F = 0.62$, $df_e = 1,14$, $P = 0.444$) (Figure 2). The interaction between species and byproducts ($F = 1.12$, $df_e = 4,11$, $P = 0.398$) was not significant.

Sodium

The Na content in the sawdust and shavings ash was 1.4 ± 0.3 % and 1.0 ± 0.6 % Na, respectively. These average values are close to the lower limit of the range (2.0 to 4.4 %) reported by Revilla (2011) who analyzed the wood of *P. cembroides*, *P. johannis*, *P. maximartinezii* and *P. pinceana*. The analysis showed no statistically significant differences in Na content among species ($F = 0.46$, $df_e = 2,8$, $P = 0.648$) or between byproducts ($F = 0.39$, $df_e = 1,8$, $P = 0.549$) (Figure 2). There was also no interaction between species and byproducts ($F = 0.46$, $df_e = 2,8$, $P = 0.645$).

Arsenic

The shavings ash had, on average, 17.1 ± 17.1 % As, while this element was not found in the sawdust. As, which is a toxic element, is a naturally occurring element widely distributed in the Earth's crust. As is found in the soil and minerals. It can be blown by the wind and reach water in rain-borne effluent and soil from other sources such as sawdust; it can also be released when wood treated with As combined with Cu and Cr (inorganic compound) is burned. In organic form, As is used in pesticides for fruit orchards (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], 2007; Granifo, 2009). In this respect, avocado plantations are widely distributed around timber industries where the shavings were obtained. High As amounts can also be found naturally in rocks (ATSDR, 2007), which, regardless of their content, are abundant due to the 1942 eruption of the "Parícutin" volcano (De la Torre, 2012), located approximately 8 km from the timber industry complex and workshops. All the foregoing could have an impact on the As content in the sawdust and shavings. Similar results have

a la erupción del volcán “Paricutín” en 1943 (De la Torre, 2012), ubicado aproximadamente a 8 km del complejo industrial maderable y de los talleres. Todo lo anterior pudo influir en el contenido de As en el aserrín y la viruta. Resultados similares se han obtenido al monitorear los contenidos de Pb y Zn en la corteza de *Pinus massoniana* Lamb. en diferentes regiones de China, demostrando la influencia de una fundidora de estos metales como fuente de contaminación (Kuang, Zhou, Wen, & Liu, 2007). Los contenidos de As entre las especies no fueron estadísticamente diferentes ($F = 0.19$, $gl_e = 2,5$, $P = 0.837$).

CONCLUSIONES

El aserrín de las especies de *Pinus*, generado durante el proceso de asierre de la madera en talleres de secundarios, puede utilizarse en la producción de pélets y briquetas. El bajo contenido de ceniza en el aserrín, así como los altos contenidos de Ca y Mg favorecen el punto de fusión de la misma. No obstante, el contenido de S excede el parámetro de los estándares, así como en el contenido de humedad, lo cual implica aplicar energía para el acondicionamiento del subproducto. Por otra parte, la calidad de la viruta de *P. leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* también es adecuada para la elaboración de pélets y briquetas por tener propiedades similares a las del aserrín, con la diferencia de que la viruta genera mayor cantidad de ceniza con mayor contenido de Si y menor contenido de K y S; sin embargo, la viruta presenta contenidos de As no permitidos por los estándares. Por tanto, el aserrín es el subproducto con las mejores propiedades para su uso en pélets y briquetas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo otorgado por el personal de “Tarimas López”, a las autoridades y empleados de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, al Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la Universidad Autónoma de Nuevo León y al CONACYT por el proyecto núm. 166444.

REFERENCIAS

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2007). Reseña toxicológica del arsénico. Atlanta, GA, EE. UU.: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU., Servicio de Salud Pública. Obtenido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts2.pdf
- Bahng, M. K., Mukarakate, C., Robichaud, D. J., & Nimlos, M. R. (2009). Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review. *Analytica Chimica Acta*, 651(2), 117–138. doi: 10.1016/j.aca.2009.08.016
- Campbell, A. G. (1990). Recycling and disposing of wood ash. *TAPPI Journal*, 73(9), 141–146.
- De la Torre, E. Y. (2012). Los volcanes del Sistema Volcánico Transversal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 50, 220–234. Obtenido de [been obtained by monitoring the Pb and Zn contents in the bark of *Pinus massoniana* Lamb. in different regions of China, demonstrating the role played by smelters of these metals as a pollution source \(Kuang, Zhou, Wen, & Liu, 2007\). The As contents among species were not statistically different \(\$F = 0.19\$, \$df_e = 2,5\$, \$P = 0.837\$ \).](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

CONCLUSIONS

The sawdust from *Pinus* species generated during the timber sawing process in secondary workshops can be used in pellet and briquette production. The low ash content in the sawdust and its high Ca and Mg contents favor the melting point thereof. However, the S content exceeds the level allowed by the applicable standards, as does the moisture content, which necessitates applying energy for product conditioning. On the other hand, the quality of the shavings of *P. leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus* is also suitable for pellet and briquette production due to having properties similar to those of sawdust, with the difference being that the shavings generate a greater amount of ash with higher Si content and lower K and S contents; however, the As content in the shavings is above that allowed by the standards. Therefore, the sawdust is the byproduct with the best properties for use in pellets and briquettes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the support provided by the staff of “Tarimas López”, the authorities and employees of the Indigenous Community of Nuevo San Juan Parangaricutiro, the Instituto de Investigaciones Metalúrgicas of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, the Universidad Autónoma de Nuevo León and CONACYT for project no. 166444.

End of English Version

- www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n50/n50a18.pdf
- Fengel, D., & Wegener, G. (1984). Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Germany: Walter de Gruyter.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249–258. doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.004
- Granifo, R. A. (2009). Recuperación de los residuos de la madera para uso energético en la región metropolitana. Tesis, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile. Obtenido de <http://www.chileresiduos.cl/chileresiduos/userfiles/file/tesis%20granifo%20residuos%20madera%281%29.pdf>
- Khan, B. I., Solo-Gabriele, H. M., Dubey, B. K., Townsend, T. G., & Cai, Y. (2004). Arsenic speciation of solvent-extracted leachate from new and weathered CCA-Treated wood.

- Environmental Science & Technology, 38(17), 4527–4534. doi: 10.1021/es049598r
- Kuang, Y., Zhou, G., Wen, D., & Liu, S. (2007). Heavy metals in bark of *Pinus massoniana* (Lamb.) as an indicator of atmospheric deposition near a smeltery at Qujiang, China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 14(4), 270–275. doi: 10.1065/espr2006.09.344
- Lambert, M. J. (1981). *Inorganic constituents in wood and bark of New South Wales forest tree species*. Sydney, Australia: Forestry Commission of New South Wales.
- Liu, X., & Bi, X. T. (2011). Removal of inorganic constituents from pine barks and switchgrass. *Fuel Processing Technology*, 92(7), 1273–1279. doi: 10.1016/j.fuproc.2011.01.016
- Minitab Inc. (2010). *Minitab statistical software*. Minitab Release, 16.2.1. USA: Autor.
- Miranda, M. T., Arranz, J. I., Rojas, S., & Montero, I. (2009). Energetic characterization of densified residues from Pyrenean oak forest. *Fuel*, 88(11), 2106–2112. doi: 10.1016/j.fuel.2009.05.015
- 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), 653–669. doi: 10.1016/j.biombioe.2003.07.006
- Obernberger, I., & Thek, G. (2010). *The pellet handbook* (1st ed.). London-Washington DC: Earthscan.
- ÖNORM M 7135 (2000). *Compressed wood or compressed bark in natural state-pellets and briquettes, requirements and test specifications*. Vienna, Austria: Österreichisches Normungsinstitut.
- Revilla, G., E. (2011). *Química de la madera de cuatro pinos mexicanos de la subsección Cembroides*. Tesis, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. Obtenido de <http://sci2s.ugr.es/keel/pdf/algorithm/articulo/shapiro1965.pdf>
- SPSS (2009). *PASW Statistics 18*. Chicago, IL, USA: Autor.
- Téllez, C., Ochoa, H. G., Sanjuan, R., & Rutiaga, J. G. (2010). Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC.(Leguminosae). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1), 87–93. doi: 10.5154/r.rchscfa.2099.11.046
- UNE-EN 14774. (2010). *Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 3. Humedad de la muestra para análisis general*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- UNE-EN 14775. (2010). *Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido en cenizas*. Madrid, España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Van Lith, S. C., Alonso, V., Jensen, P. A., Frandsen, F. J., & Glarborg, P. (2006). Release to the gas phase of inorganic elements during wood combustion. Part 1: Development and evaluation of quantification methods. *Energy & Fuels*, 20(3), 964–978. doi: 10.1021/ef050131r
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913–933. doi: 10.1016/j.fuel.2009.10.022
- Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., Vassileva, C. G., & Morgan, T. J. (2012). An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. *Fuel*, 94, 1–33. doi: 10.1016/j.fuel.2011.09.030
- Werkelin, J., Lindberg, D., Boström, D., Skrifvars, B. J., & Hupa, M. (2011). Ash-forming elements in four Scandinavian wood species part 3: Combustion of five spruce samples. *Biomass and Bioenergy*, 35, 725–733. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.10.010
- Werkelin, J., Skrifvars, B. J., Zevenhoven, M., Holmbom, B., & Hupa, M. (2010). Chemical forms of ash-forming elements in woody biomass fuels. *Fuel*, 89(2), 481–493. doi: 10.1016/j.fuel.2009.09.005