

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MORFOLÓGICO DEL ASERRÍN DE CINCO ESPECIES FORESTALES DE PUCALLPA Y SU DENSIFICACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS

### Granulometric and morphological analysis of sawdust from five forest species from Pucallpa and its densification to obtain briquettes

Manuel Iván Salvador Cárdenas \*, <https://orcid.org/0000-0002-2351-2514>

Herbert Oldemar Valerio Requiz, <https://orcid.org/0009-0009-8649-0998>

Lenin Vladimir Vargas Villa, <https://orcid.org/0000-0002-5900-3818>

Isaías Alberto Salinas Andrade, <https://orcid.org/0000-0002-5468-7560>

Edwin Tayson Fernández Ruiz, <https://orcid.org/0009-0001-0522-2652>

Universidad Nacional de Ucayali, Perú

\*Autor para correspondencia. email: [manuel\\_salvador@unu.edu.pe](mailto:manuel_salvador@unu.edu.pe)

**Para citar este artículo:** Salvador Cárdenas, M. I., Valerio Requiz, H. O., Vargas Villa, L. V., Salinas Andrade, I. A. y Fernández Ruiz, E. T. (2024). Análisis granulométrico y morfológico del aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa y su densificación para la obtención de briquetas. *Maestro y Sociedad*, 21(2), 910-920. <https://maestroysociedad.uo.edu.pe>

#### RESUMEN

Introducción: El objetivo general fue caracterizar granulométrica y morfológicamente el aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa y ver sus posibilidades de uso en la fabricación de briquetas. Los objetivos específicos, fueron determinar la composición granulométrica y morfológica del aserrín de cinco especies forestales; fabricar briquetas en función a las características granulométricas y morfológicas del aserrín y determinar las propiedades físicas y mecánicas de cada tipo de briquetas. Materiales y métodos: La investigación se ejecutó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU), en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región de Ucayali. Las briquetas de aserrín de las especies de Lupuna blanca y Cumala resultaron las más livianas con 0.538- 0.572 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, las de Copaiba blanca, Capirona y Shihuahuaco con 0.644, 0.667- 0.708 g/cm<sup>3</sup>. Resultados: En el contenido de humedad (CH) las briquetas de aserrín de Lupuna blanca presentaron 20.48 %, la de Cumala presentó un 16.01 %, de la Copaiba blanca un 13.12 %, de la Capirona presento 11.73 % y la de Shihuahuaco presento 9.65 %. Discusión: Las briquetas de aserrín de las especies Lupuna blanca y la Capirona tuvieron bajo valor del MOR en la compresión paralelo al eje longitudinal, la de Shihuahuaco un valor medio a diferencia de las especies de Cumala y Copaba blanca presentaron alto valor del MOR. Conclusiones: También se encontró diferencias significativas entre el poder calórico de las briquetas de aserrín de cinco especies.

**Palabras clave:** Aserrín, granulometría, morfología, densidad básica, contenido de humead, compresión perpendicular y poder calórico superior.

#### ABSTRACT

Introduction: The general objective was to characterize granulometrically and morphologically the sawdust of five forest species from Pucallpa and see its possibilities of use in the manufacture of briquettes. The specific objectives were to determine the granulometric and morphological composition of sawdust from five forest species; manufacture briquettes based on the granulometric and morphological characteristics of the sawdust and determine the physical and mechanical properties of each type of briquettes. Materials and methods: The research was carried out in the Wood Technology Laboratory of the National University of Ucayali (UNU), in the district of Callería, province of Coronel Portillo, region of Ucayali. The sawdust briquettes of the Lupuna blanca and Cumala species were the lightest with 0.538- 0.572 g/cm<sup>3</sup> respectively, those of Copaiba blanca, Capirona and Shihuahuaco with 0.644, 0.667- 0.708 g/cm<sup>3</sup>. Results: In the moisture content (MC), the white Lupuna sawdust briquettes presented 20.48%, the Cumala one presented 16.01%, the white Copaiba presented 13.12%, the Capirona presented 11.73% and the Shihuahuaco presented 9.65%. . Discussion: The sawdust briquettes of the

white Lupuna and Capirona species had a low MOR value in compression parallel to the longitudinal axis, the Shihuahuaco one had a medium value, unlike the Cumala and white Copaba species had a high MOR value. Conclusions: Significant differences were also found between the caloric value of sawdust briquettes of five species.

**Keywords:** Sawdust, granulometry, morphology, basic density, moisture content, perpendicular compression and higher caloric value.

Recibido: 6/1/2024 Aprobado: 15/3/2024

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el manejo de residuos en el sector maderero ha tomado mayor interés, con el fin de hacer más productivas las empresas de este rubro. Variados son los productos que se generan a partir de los desechos maderables, pero aún queda gran cantidad de remanentes de madera, por lo que las empresas se ven obligadas a desecharlos en los ríos o incinerarlos al aire libre causando problemas ambientales. (Moscoso, Beraún, Quispe, & Cusimayta, 2020).

El uso de biocombustibles se ha convertido en una necesidad para el ser humano, son elaborados a partir de biomasa que es una fuente energética renovable, se emplean recursos vegetales o animales que son considerados residuos en diferentes industrias estos pueden ser materia orgánica o inorgánica utilizados para generar energía limpia. Los recursos pueden ser: forestales, agrícolas, biodegradables, industria agroalimentaria, entre otros.

Las briquetas se pueden definir como la compresión o compactación de la biomasa, para disminuir los espacios vacíos entre las partículas y dentro de las partículas. En ese sentido Ortiz et al (1994), sostiene que el empleo energético de la biomasa forestal residual, tiene una serie de desventajas con respecto a otros combustibles como son su baja densidad y dificultad de manejo. Una de las posibilidades de transformación física, consiste en su compactación para la obtención de productos combustibles densificados con un alto poder calorífico, y homogéneos en propiedades y dimensiones. Esto permite la automatización de los sistemas de alimentación y control de la combustión, además de permitir de unos gastos menores de transporte y almacenamiento.

Los productos compactados con diámetros normalmente comprendidos entre 6 y 12 mm y longitudes de 10 a 30 mm menos de 30 mm de diámetro son considerados convencionalmente pellets (Ortiz et al, 1994) y con diámetro mayor de 30 mm se denominan briquetas (CUBASOLAR, s.f). Se estima que con 30 metros cúbicos estéreos de aserrín pueden convertirse en un metro cúbico de pellets (EMBACUBA CUBAMINREX, s.f).

La forma de las briquetas puede ser muy variable y depende de la maquinaria utilizada en su obtención. Sin embargo, casi todas las briquetas fabricadas en la actualidad en España son de forma cilíndrica. Otra forma de las briquetas es la de sección octogonal, con un hueco redondo en el centro. De esta manera se consigue una ignición más rápida; esto puede resultar ventajoso o perjudicial (Dependiendo del objetivo buscado). Otra forma es la sección rectangular, ligeramente redondeada en las cuatro esquinas para así no desintegrarse con los golpes. Este tipo de briquetas arden más despacio, pero se almacenan mucho mejor pues ocupan menos volumen a igualdad de peso que el tipo cilíndrico o el de prisma octogonal hueco (CUBASOLAR, s.f).

Las briquetas deben tener las siguientes características: deben mantener sus propiedades como sólidos compactados hasta que cumplan su función (durante su manipulación, transporte, almacenaje, dosificación y combustión), además deben comportarse satisfactoriamente como combustibles, dentro de un sistema integral concebido (CUBASOLAR, s.f). Las briquetas son productos ecológicos entre las ventajas que ofrecen: Energía limpia, fuente renovable, materia orgánica no tóxica y natural, que reduce las emisiones atmosféricas considerablemente en comparación con la leña.

El objetivo fue caracterizar granulométrica y morfológicamente el aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa y ver las posibilidades de densificación y fabricar independientemente diferentes tipos de briquetas como resultado de las características granulométricas y morfológicas del. aserrín.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se llevó a cabo en los Laboratorios de Tecnología de la Madera, Anatomía de la Madera y Transformación Química de la Madera de la UNU, situada en la carretera Federico Basadre Km. 6.200, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo y región Ucayali. Para los ensayos se aplicó el método

experimental, el que consistió en observar y evaluar las propiedades, características y rasgos importantes de las briquetas de aserrín. La población estuvo constituida por el volumen total de aserrín de las especies de: Ceiba pentandra (Lupuna blanca), Virola calophylla (Cumala), Copaifera paupera (Copaiba blanca), Calycophyllum spruceanum (Capirona) y del Dipteryx micrantha (Shihuahuaco) que se produjeron en el último trimestre del 2020, en los aserraderos de Pucallpa. La muestra estuvo constituida por 15 kg de aserrín por especie, para la fabricación de un total de 120 briquetas. Los aserrines fueron recolectados en aserraderos de Pucallpa: Aserraderos portátiles en la Hoyada (Lupuna blanca y Cumala), Aserradero Arbe S.A.C., carretera de Manantay (Copaiba blanca), Inversiones Forestales San Juan S.A.C. carretera de Manantay (Capirona) e Industrial Ucayali S.A.C. en la Avenida Centenario (Shihuahuaco).

Las muestras de aserrín fueron transportados al Laboratorio de Tecnología de la Madera, para su acondicionamiento y proceso de fabricación. El aserrín por especie fue pesado utilizando Balanza digital (modelo- FX-300). Se realizó un pre-secado natural al aire libre, cuyo rango de secado estuvo entre 13 % y 16 % de CH, para un mejor tamizado de las muestras. Para conocer la composición granulométrica, se tamizaron las muestras de aserrín de las cinco especies, de manera independiente, empleando cuatro medidas de tamiz: N° 07 (2.80 mm), N° 10 (2.00 mm), N° 20 (850 µm) y N° 45 (355 µm).

Las muestras de aserrín por granulometría en cada especie, se colocaron en sobres de manila para llevarlos a la estufa (Marca- Ecosell) a 103 + 2 °C, hasta conseguir el peso seco y determinar el CH de cada muestra de aserrín. La morfología de las partículas de aserrín por especie y por granulometría, se realizó en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, utilizando un microscopio electrónico con un aumento de 10x. Esta acción ayudó a definir la forma de las partículas del aserrín, adaptándolos al ábaco establecido por Krumbein y Sloss (1963) para evaluar la forma granular. El aglutinante se preparó empleando 250 g de almidón de yuca, disuelta en un litro de agua, la mezcla fue colocada a fuego lento en una cocinilla eléctrica, hasta conseguir una consistencia viscosa. La concentración del aglutinante fue de 20 % en peso. Para calcular la concentración se aplicó la siguiente fórmula:

$$[ ] = \frac{W (sto)}{W (sto) + W (sol)} \times 100$$

[ ] = Concentración del aglutinante en %

W (sto) = Peso del soluto (g)

W (sol) = Peso del solvente (ml)

Se confeccionaron moldes de acero y para acelerar el fraguado del aglutinante al momento del prensado, los moldes de acero fueron calentados en una estufa por un tiempo de 35 minutos aproximadamente a una temperatura de 240 °C en promedio,.

En la fabricación de las briquetas de aserrín, se trabajó con un peso de 20- 45 g de aserrín por molde, la variación del peso se debió a varios factores como: distintas especies, granulometría y morfología del aserrín, así como del volumen de los moldes. La proporción del aglutinante estuvo en función al número o tamaño de tamiz, para las partículas N° 07 (2.80 mm) y N° 10 (2.00 mm) fue de 30 % del peso de la muestra; para las muestras obtenidas con tamiz N° 20 (850 µm) y N° 45 (355 µm) fue de 60 % del peso de la muestra.

La mezcla del aserrín y el aglutinante fue totalmente homogénea, luego fueron colocados en los moldes calientes para densificarla en una prensa hidráulica (Marca- Tinius Olsen). La presión aplicada fue de 1 200 kg/cm<sup>2</sup>, el tiempo de prensado y enfriado del molde fue de 60 minutos para las cinco especies. Las briquetas fueron retiradas del molde utilizando una prensa manual, luego se determinaron sus propiedades físicas, mecánicas y químicas de las briquetas de aserrín tales como:

Densidad (D). Se determinó de acuerdo a la norma NTP 251.011-1980, pesando cada briqueleta en gramos (M), estos valores se dividieron entre su volumen de cada briqueleta (V) en cm<sup>3</sup>.

$$V = \frac{\pi \times d^2 \times l}{4}$$

π = 3,1416

d = Diámetro de la briqueleta (cm) = 3.56 cm. (Prom.)

l = Longitud de la briqueleta (cm)

Luego se aplicó la fórmula de la densidad, conociendo la masa y el volumen de la briqueta:

$$D = M/V$$

D = Densidad (g/cm<sup>3</sup>)

Densidad aparente. Para determinar el peso de un 1 m<sup>3</sup> de briquetas, se determinó la densidad aparente, aplicando la siguiente expresión.

$$Dap = M/V$$

Dap = Densidad aparente (kg/m<sup>3</sup>)

M = Masa (Peso) total de las briquetas (kg)

V = Volumen de briquetas apilada (m<sup>3</sup>)

Contenido de humedad (CH). Se molieron las briquetas y tomando muestras de 2 g (Ph) se colocó en la estufa a 103 + 2 °C hasta que el peso de la muestra sea constante (Ps). En concordancia con la norma NTP 251.010-1980, se aplicó la siguiente fórmula:

$$CH\% = \frac{Ph - Ps}{Ph} \times 100\%$$

Resistencia a la compresión. El MOR a la compresión paralelo al eje de la briqueta, fue determinada según la norma NTP 251.014-1980, el ensayo se realizó en la prensa universal (Marca- Tinius Olsen) con 3 briquetas por número de tamiz y por especie, registrándose los valores en kgf/cm<sup>2</sup> y utilizando la fórmula siguiente:

$$MOR = P/A$$

MOR = Modulo de rotura (kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima que soporta la briqueta (kg)

A = Superficie de la sección transversal de la briqueta (cm<sup>2</sup>)

$$A = p (d/2)^2$$

Poder calórico superior (PCS). El PCS de las briquetas de aserrín por especie y por granulometría, se determinó en el Laboratorio de Transformación Química de la Madera, utilizando una bomba calorimétrica

El análisis de los resultados consistió en determinar los valores promedios de las propiedades físicas y mecánicas de las briquetas de cada especie y compararlos aplicando el ANVA de dos factores.

## RESULTADOS

### Composición granulométrica del aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa

La figura 1 muestra que las especies densas como Calycophyllum spruceanum (Capirona) y Dipteryx micrantha (Shihuahuaco) presentaron menores porcentajes de partículas gruesas que atravesaron por el tamiz N° 07, con 11.5 % y 10.1 % respectivamente; mientras que las especies de mediana y baja densidad como: Ceiba pentandra (Lupuna blanca), Virola calophylla (Cumala) y Copaifera paupera (Copaiba blanca), el porcentaje de partículas que atravesaron el tamiz N° 07 se incrementaron de 17.0 a 26.6 %.

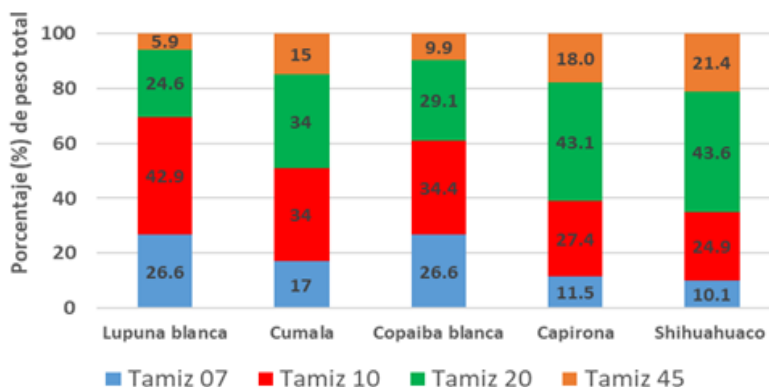


Figura 1. Distribución porcentual de la granulometría del aserrín por especie

Del mismo modo las especies densas como Capirona y Shihuahuaco presentaron menores porcentajes de partículas que atravesaron el tamiz N° 10, con 27.4 % y 24.9 % respectivamente, mientras que el aserrín de especies de densidad media como Copaiba blanca y Cumala atravesaron en mayor porcentaje a razón de 34.4 y 34.0 % respectivamente y finalmente por el tamiz N° 10 atravesaron el 42.9 % del total de aserrín de Lupuna blanca, que se caracterizó por ser de muy baja densidad.

Asimismo, se aprecia que por el tamiz N° 20, el aserrín de las especies densas como Capirona y Shihuahuaco son los que pasan en mayor porcentaje a razón de 43.1 y 43.6 % respectivamente; seguido por el aserrín de Cumala con 34.0 %; mientras que el aserrín de las otras especies como Copaiba blanca y Lupuna blanca, atravesaron las cribas del tamiz N° 20 en menor porcentaje, alrededor de 29.1 y 24.6 % respectivamente. Finalmente utilizando el tamiz N° 45, el aserrín fino de las especies densas como Capirona y Shihuahuaco son las que pasaron en mayor porcentaje a razón de 18.0 y 21.4 % respectivamente; seguido por el aserrín de Cumala con 15 %; mientras que el aserrín fino de las otras especies como Copaiba blanca y Lupuna blanca, atravesaron en menor porcentaje el tamiz N° 45, alrededor de 9.9 y 5.9 % respectivamente.

Estos resultados ponen de manifiesto que maderas de especies forestales de alta densidad en el proceso de aserrío generan bajo porcentaje de partículas gruesas y mayor porcentaje de partículas finas; mientras que las especies de mediana y baja densidad se generan mayor porcentaje de partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas, corroborando lo mencionado por Arostegui (1982), en que el grosor del aserrín depende en gran parte de la densidad de las especies forestales y el tipo de cinta utilizado en el corte; en este estudio se pudo observar que cuando la densidad de la madera es menor se obtiene más partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas que cuando la densidad de la madera es mayor, se obtiene menos partículas gruesas y mayor porcentaje de partículas finas.

### Morfología del aserrín de cinco especies forestales de Pucallpa

Tabla 1 Morfología del aserrín de cinco especies forestales con cuatro números de tamiz, adaptados al ábaco establecido por Krumbein y Sloss (1963)

Especie	N° de tamiz	Aumento	Redondez	Esfericidad
Ceiba pentandra (Lupuna blanca)	07 (2.80 mm)	10X	0.3- 0.5	0.1- 0.3
	10 (2.00 mm)	10X	0.3- 0.5	0.3- 0.5
	20 (850 µm)	10X	0.3- 0.5	0.3- 0.5
	45 (355 µm)	10X	0.3- 0.5	0.3- 0.5
Virola calophylla (Cumala)	07 (2.80 mm)	10X	0.3- 0.5	0.5- 0.7
	10 (2.00 mm)	10X	0.3- 0.5	0.5- 0.7
	20 (850 µm)	10X	0.3- 0.5	0.5- 0.7
	45 (355 µm)	10X	0.3- 0.5	0.7 – 0.9
Copaifera paupera (Copaiba blanca)	07 (2.80 mm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
	10 (2.00 mm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
	20 (850 µm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
	45 (355 µm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
Calycophyllum spruceanum (Capirona)	07 (2.80 mm)	10X	0.3- 0.5	0.7 – 0.9
	10 (2.00 mm)	10X	0.7	0.7
	20 (850 µm)	10X	0.3- 0.5	0.7 – 0.9
	45 (355 µm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
Dipteryx micrantha (Shihuahuaco)	07 (2.80 mm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
	10 (2.00 mm)	10X	0.5 – 0.7	0.7 – 0.9
	20 (850 µm)	10X	0.3- 0.5	0.5- 0.7
	45 (355 µm)	10X	0.3- 0.5	0.5- 0.7

Las figuras del 2 al 6, muestran imágenes de las características morfológicas del aserrín de cinco especies forestales, cernidos con tamiz N° 7 y un aumento de 10X:

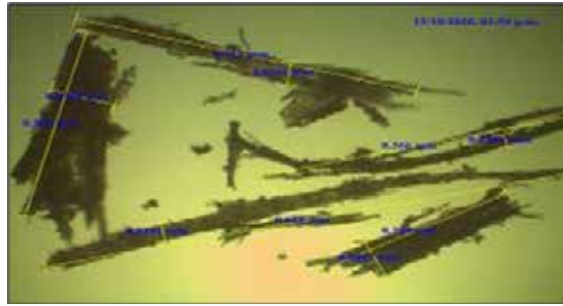


Figura 2. Morfología del aserrín de Ceiba pentandra (lupuna blanca) con tamiz número 07 y aumento de 10X.

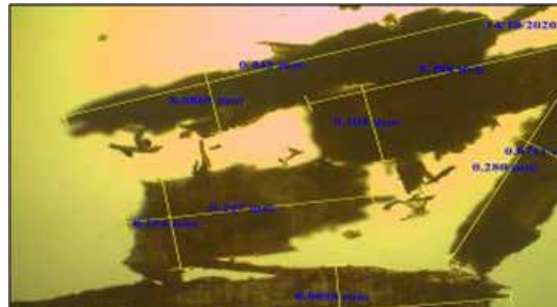


Figura 3. Morfología del aserrín de Virola calophylla (cumala) con tamiz número 07 y aumento de 10X.

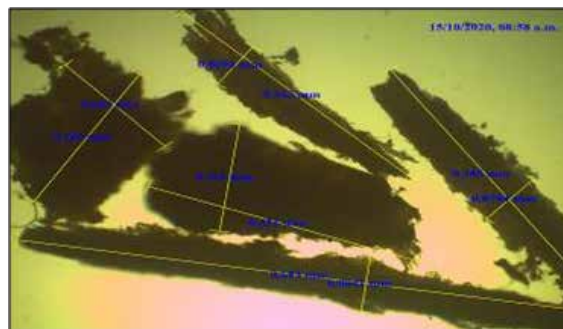


Fig. 4 Morfología del aserrín de la Copaifera paupera (Copaiba Blanca) con tamiz número 07 y con un aumento de 10X.

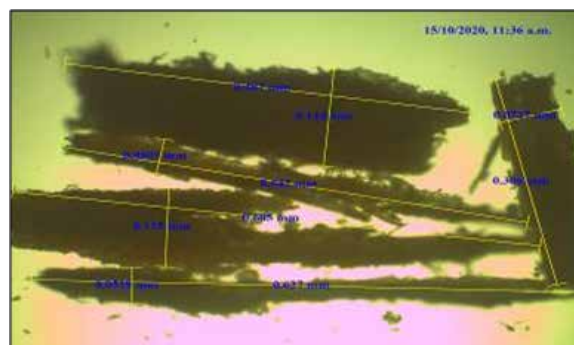


Fig. 5 Morfología del aserrín de la Calycophyllum spruceanum (Capirona) con tamiz número 07 y con un aumento de 10x.

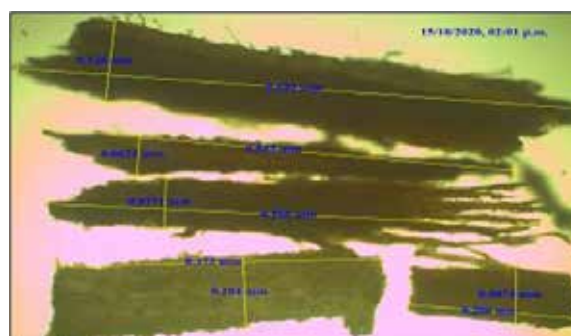


Figura 6. Morfología del aserrín del Dipteryx micrantha (Shihuahuaco) con tamiz número 07 y con un aumento de 10X.

### Caracterización de las briquetas de aserrín

Tabla 2. Características métricas de las briquetas de aserrín de las cinco especies forestales y cuatro granulometrías.

Especie	Tamiz	Peso (g)	Diam. (cm)	Largo (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Lupuna blanca	Tamiz N° 07	37.20	3.93	6.04	74.53
	Tamiz N° 10	31.36	3.28	5.91	60.87
	Tamiz N° 20	35.01	3.46	5.59	60.97
	Tamiz N° 45	32.03	3.28	5.39	55.64
Cumala	Tamiz N° 07	42.31	3.87	6.05	73.53
	Tamiz N° 10	42.06	3.90	5.89	72.25
	Tamiz N° 20	36.52	3.84	5.52	66.54
	Tamiz N° 45	35.26	3.21	5.88	59.35
Copaiba blanca	Tamiz N° 07	48.03	3.82	6.15	73.81
	Tamiz N° 10	41.11	3.47	6.22	67.75
	Tamiz N° 20	41.18	3.52	5.42	59.65
	Tamiz N° 45	40.56	3.22	6.36	64.30
Capirona	Tamiz N° 07	44.00	3.26	7.12	73.03
	Tamiz N° 10	53.50	3.84	6.41	77.27
	Tamiz N° 20	54.62	3.87	6.36	77.36
	Tamiz N° 45	45.52	3.22	6.77	68.46
Shihuahuaco	Tamiz N° 07	41.75	3.24	6.56	66.83
	Tamiz N° 10	59.34	3.88	6.27	76.39
	Tamiz N° 20	59.38	3.83	5.91	71.03
	Tamiz N° 45	48.95	3.20	7.08	71.24

### Propiedades físicas de las briquetas de aserrín Densidad de las briquetas

La figura 7 muestra las densidades de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales estructurado granulométricamente con cuatro tamaños de partículas. Una de las principales características de las briquetas es que son más densas frente a la madera sólida, lo que facilita su transporte, manipuleo y su almacenaje, sin embargo, uno de sus inconvenientes es que son más caras que la madera sólida y requiere de un proceso industrial de fabricación (Francisco, 2013).

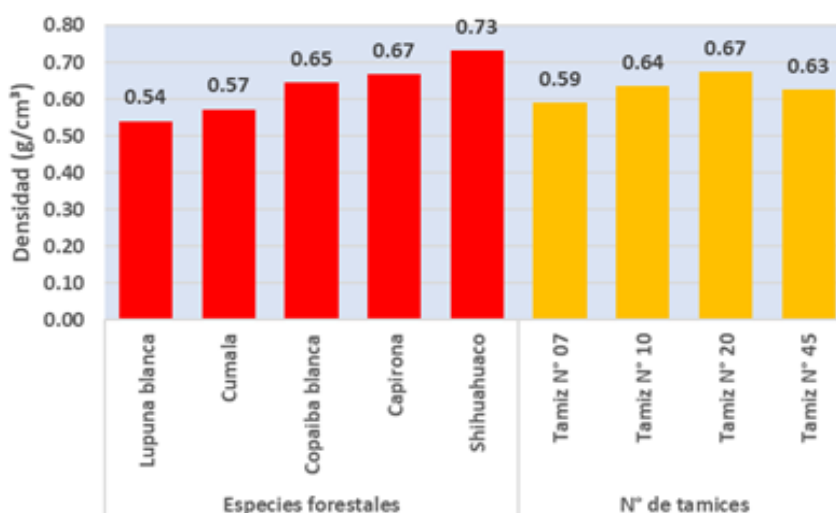


Figura 7. Densidad de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías

Por su parte Ortiz (2012), menciona que en general, las densidades superan los 1000 kg/m<sup>3</sup> e incluso los 1100 kg/m<sup>3</sup>, que son valores bastante elevados, teniendo en cuenta que la densidad teórica máxima alcanzable es de unos 1500 kg/m<sup>3</sup> (Densidad de la fibra de madera 1560 kg/m<sup>3</sup>). Indica, además que la producción de briquetas con aserrín de Eucalipto fue muy baja, debido a que el aserrín seco del Eucalipto, es muy fibrosa y se apelmaza formando grumos o madejas que tienen muy baja densidad aparente (776 kg/m<sup>3</sup>). De esta forma, en la cámara de prensado entraba muy poco material en peso.



## Contenido de humedad

La explicación para no alcanzar una densidad de 1000 kg/m<sup>3</sup>, según Ortiz (2012), corresponde a las briquetas obtenidas a partir de productos cuyo CH supera el 15 % de humedad, por lo que se confirma que este es el límite máximo aceptable para conseguir una densificación de alta calidad. Indica, además que la deshidratación producida durante el proceso de briqueteado alcanza valores comprendidos entre el 8 % y el 14 %. Sobre el caso Francisco (2013), sostiene que la humedad de la briketa es función de la forma en que se suministre el producto. El proceso de prensado que sufre la materia prima al convertirse en briquetas, suelen utilizar partículas secas (Humedad menor del 12 % base húmeda) y además las partículas se seca aún más, al final la humedad de la briketa resulta estar entre 8- 10 % a la salida de la prensa.

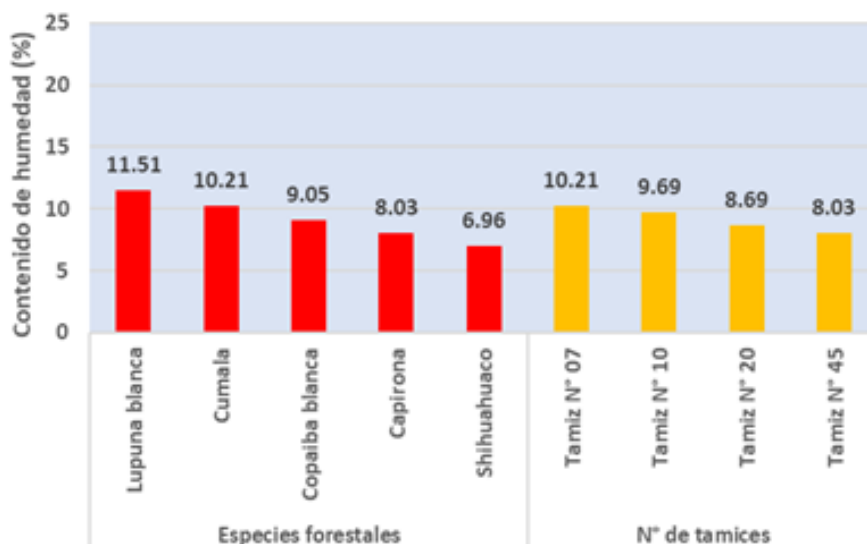


Fig. 8 CH de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales y cuatro tipos de granulometrías

## Densidad aparente

Las briquetas de Ceiba pentandra (lupuna blanca) presentaron una densidad aparente con 485.56 kg/estéreo, conformado por 14323 unidades, lo que hace que un estéreo de briquetas contenga un coeficiente de apilamiento de 0.78 y 0.22 de espacios vacíos, mientras que para obtener 1 m<sup>3</sup> real de briquetas se requiere 1.30 estéreos (factor apilamiento)

Tabla 5. Densidad aparente de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales.

Especie (Aserrín)	Coefficiente de apilamiento	Factor de apilamiento	N° de briquetas por estéreo	Peso de la briketa por m <sup>3</sup> (kg/estéreo)
Lupuna blanca	0.78	1.28	14323	485.56
Cumala	0.75	1.35	12434	485.44
Copaiba blanca	0.76	1.32	13441	574.22
Capirona	0.77	1.30	11895	587.75
Shihuahuaco	0.77	1.30	12354	646.86

Las briquetas de Virola calophylla (Cumala) presentaron una densidad aparente con 485.44kg/estéreo, conformado por 13441 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.75 y 0.25 de espacios vacíos, mientras que para obtener 1 m<sup>3</sup> real de briquetas se requiere 1.35estéreos (factor apilamiento).

Las briquetas de Copaifera paupera (Copaiba blanca) presentaron una densidad aparente de 574.22 kg/estéreo, conformado por 13441 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de briquetas de 0.76 y 0.24 de espacios vacíos, mientras que para obtener 1 m<sup>3</sup> real de briquetas se requiere 1.32 estéreos (factor apilamiento).

Las briquetas de Calycophyllum spruceanum (Capirona) presentaron una densidad aparente de 587.75 kg/estéreo, conformado por 11895 unidades, lo que hace que un estéreo de briquetas contenga un coeficiente de apilamiento de 0.77 de briquetas y 0.23 de espacios vacíos y para obtener 1 m<sup>3</sup> real de briquetas se requiere 1.30 estéreos (factor apilamiento).

Las briquetas de Dipteryx micrantha (Shihuahuaco) presentaron una densidad aparente de 646.86 kg/estéreo, conformado por 12354.01 unidades, lo que hace que un estéreo contenga un volumen real de



briquetas el 0.77 y 0.23 de espacios vacíos, mientras que para obtener un metro cúbico real se requiere de 1.3 estéreos.

El coeficiente de apilamiento y el número de briquetas por metro cúbico, están estrechamente relacionados con el tamaño de la probeta, por lo tanto, se deduce que a mayor tamaño de las briquetas menor es el coeficiente de apilamiento y menor el número de briquetas por metro cúbico. La Universidad de Valladolid (2012), precisa que la densidad aparente de las briquetas está entre 700-800 kg/estéreo, superando inclusive al de la madera sólida, que se encuentra entre 350- 400 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de las briquetas de aserrín de Shihuahuaco (646.86 kg/estéreo) se podría decir que se ubica casi dentro del rango y las briquetas de aserrín de Capirona (587.75 kg/estéreo), la Copaiba blanca (574.22 kg/estéreo), de Cumala 485.44 kg/estéreo y de Lupuna blanca (485.56 kg/estéreo) se ubican debajo del rango.

### Resistencia a la compresión de briquetas de aserrín

Las briquetas de aserrín de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) presentaron diferencias altamente significativas entre los cuatro tamaños de partículas, se obtuvo mayor MOR de las briquetas en partículas que atravesaron el tamiz N° 07 soportando una resistencia promedio de 254.67 kgf/cm<sup>2</sup>, seguidos de las partículas que pasaron por el tamiz N° 10 que soportaron una resistencia promedio de 122.13 kgf/cm<sup>2</sup>, luego las briquetas de partículas que pasaron por el tamiz N° 20 que soportaron una resistencia promedio de 69.87 kgf/cm<sup>2</sup> y finalmente las briquetas las que se fabricaron con partículas del tamiz N° 45 las que presentaron menor MOR soportando una presión promedio de solo 26.92 kgf/cm<sup>2</sup>.

Las briquetas de la especie *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) obtenidas con partículas del tamiz N° 07 fueron las que presentaron mayor MOR a la compresión paralela con un promedio de 91.73 kgf/cm<sup>2</sup>, siendo superior y difiriendo significativamente del resto de briquetas fabricadas con partículas obtenidas con tamices N° 10, 45 y 20, las cuales no presentaron diferencias significativas en el MOR, cuyos valores fueron 21.24, 11.69 y 8.83 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Tabla 6. MOR de las briquetas de aserrín de cinco especies forestales.

Resistencia a la compresión perpendicular al eje (MOR) (kgf/cm <sup>2</sup> )						
N° de tamiz	Lupuna blanca	Cumala	Copaiba blanca	Capirona	Shihuahuaco	x/tamiz
Tamiz N° 07	19.80	41.86	254.67	91.73	63.50	94.31
Tamiz N° 10	50.44	81.37	122.13	21.24	36.98	62.43
Tamiz N° 20	15.25	64.57	69.87	8.83	14.73	34.65
Tamiz N° 45	24.67	58.53	26.92	11.69	74.33	39.23
x /especie	27.54	61.58	118.4	37.37	47.39	

En las briquetas de aserrín de *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) no se encontraron diferencias significativas en el MOR entre tamices N° 45 y 07 cuyos valores fueron 74.33 y 63.50 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente, siendo superiores y difiriendo significativamente de las briquetas con partículas de tamices N° 10 y 20, mientras que las briquetas obtenidas con tamiz N° 10 la resistencia a la compresión fue de 36.98 kgf/cm<sup>2</sup> difiriendo de las briquetas fabricadas con tamiz N° 20 cuyo valor fue de 14.73 kgf/cm<sup>2</sup>.

De los resultados se deduce que, a mayor tamaño de partículas, mayor es el MOR de las briquetas, por la multidireccionalidad de las fibras. Por lo tanto, de manera referencial se le aplicó los criterios cuantitativos establecidos para madera maciza y señalada por Sibille (2006), que indican que las briquetas de aserrín de las cinco especies forestales, presentan mediana resistencia a la compresión paralela al eje longitudinal.

### Poder calórico superior (PCS) de briquetas de aserrín

Entre las briquetas de aserrín de *Ceiba pentandra* (Lupuna blanca) fabricados con partículas que atravesaron los tamices N° 07 y 10 no existen diferencias significativas en el PCS y estos valores son superiores al PCS de las briquetas obtenidas con tamices N° 20 y 45, La Lupuna blanca es la que presenta mayor PCS promedio (4630 kcal/kg). En las briquetas de *Copaifera paupera* (Copaiba blanca) no se hallaron diferencias significativas en sus PCS entre las briquetas fabricados con partículas de tamices N° 07 y 20 y estos son superiores al PCS de las briquetas obtenidas con tamiz N° 10 y N° 45. En las briquetas de Copaiba blanca se obtuvo un PCS promedio de 4583 kcal/kg.

En las briquetas de *Calycophyllum spruceanum* (Capirona) presentan diferencias significativas en el PCS entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07 y el grupo de briquetas obtenidas con tamiz N° 45, 10 y 20. En las briquetas de Capirona se obtuvo un PCS promedio de 4580 kcal/kg y finalmente

las briquetas del *Dipteryx micrantha* (Shihuahuaco) presentaron diferencias significativas en el PCS entre las briquetas fabricados con partículas que atravesaron el tamiz N° 07, 45, 10, 20. En las briquetas de Shihuahuaco se obtuvo un PCS promedio de (4555 kcal/kg).

Tabla 7. Resumen del PCS de las briquetas por especie y por número de tamiz.

Poder calórico superior (kcal/kg)						
N° de Tamiz	Lupuna blanca	Cumala	Copaiba blanca	Capirona	Shihuahuaco	x /tamiz
Tamiz N° 07	4651	4622	4588	4605	4601	4613
Tamiz N° 10	4646	4615	4600	4570	4536	4593
Tamiz N° 20	4615	4629	4553	4565	4508	4574
Tamiz N° 45	4610	4599	4589	4580	4574	4590
x /especie	4631	4616	4583	4580	4555	

De estos resultados se puede deducir que las briquetas de partículas más gruesas presentan mayor PCS que las de partículas finas. Martins (1990) menciona que el PCS, es mayor cuando más contenido de aserrín presente en la mezcla. Lo mencionado por Martins H. (1990), se puede corroborar ya que las briquetas que se fabricaron con tamices número 07 y 10, resultaron con mayor PCS debido a el porcentaje de aglutinante, solo se utilizó el 30 % del peso del aserrín a diferencia de las briquetas que se fabricaron con tamices números 20 y 45 el porcentaje de aglutinante que se utilizó fue del 60 % del peso del aserrín.

## DISCUSIÓN

Cuando la densidad de la madera sólida es menor se obtiene mayor porcentaje de partículas gruesas y menor porcentaje de partículas finas y viceversa. Las características morfológicas de las partículas de aserrín de las cinco especies forestales, empleando cuatro números de tamices y con un aumento de 10X, se obtuvieron diferentes formas. Según la tabla de determinación de la forma de las partículas, con gráficos de esfericidad y redondez, se obtuvieron distintas formas de las partículas o aserrín de cinco especies forestales cuya redondez variaba dependiendo de la especie de 0.3, 0.5 y 0.7 y esfericidad de 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 y 0.9.

Las briquetas de aserrín según el número de tamiz presentaron diferencias significativas en cuanto a la densidad básica, las briquetas obtenidas con tamices N° 10, 20 y 45 no presentaron diferencias significativas variando de 0.67, 0.64 y 0.63 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, difiriendo significativamente de la densidad básica de las briquetas obtenida con partículas de tamiz N° 07, cuya densidad básica fue 0.59 g/cm<sup>3</sup>. Se encontró diferencias altamente significativas en la densidad básica de las briquetas de aserrín entre especies, resultando el Shihuahuaco las más densas 0.73 g/cm<sup>3</sup>, seguido de las briquetas de Capirona y las de Copaiba blanca con 0.67 y 0.65 g/cm<sup>3</sup> respectivamente y finalmente las briquetas de aserrín menos densas fueron las de Cumala y de Lupuna blanca con 0.57 y 0.54 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

El contenido de humedad de las briquetas de aserrín según el número de tamices fue: 07, 10, 20 y 45 (10.21, 9.69, 8.69 y 8.03 % respectivamente y según las especies forestales la especie que presentó el mayor CH fue la Lupuna blanca con 11.51 %, seguido de la Cumala, Copaiba blanca y la Capirona con (10.21, 9.05 y 8.03 % respectivamente) y la que presento menor CH fue las briquetas de aserrín del Shihuahuaco con 6.96 %.

## CONCLUSIONES

Las briquetas de aserrín obtenidas con el tamiz N° 07 fue la que soporto una mayor resistencia al momento de la compresión paralela al eje con un promedio de 136.63 kgf/cm<sup>2</sup>, seguido de los tamices N° 10 y 45 con un promedio de 60.12 y 37.65 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente) y la que soporto una menor resistencia al momento de la compresión paralela fue con el tamiz N° 20 con un promedio de (31.14 kgf/cm<sup>2</sup>) y según las especies forestales la que presento una mayor resistencia fue la Copaiba blanca, seguido del Shihuahuaco y la que presento menor resistencia a la compresión fue la Capirona. La Lupuna blanca, Capirona y Shihuahuaco, se puede considerar como briquetas de baja resistencia a la compresión paralela al eje longitudinal, mientras que las briquetas de Cumala y Copaiba blanca se puede considerar como briquetas de mediana resistencia a la compresión paralela al eje longitudinal.

Las briquetas de aserrín hechas con partículas obtenidas con el tamiz N° 07 fueron las que presentaron mayor poder calórico superior siendo el promedio de 4611 kcal/kg, seguido de las briquetas con los tamices

N° 10 y 45 con un promedio de (4588 kcal/kg para ambos) y la que presento un menor poder calórico superior fueron las briquetas fabricadas con partículas del tamiz N° 20 con un promedio de 4560 kcal/kg) y las briquetas de aserrín de la especie Lupuna blanca fue la que presento un mayor PCS con 4631 kcal/kg, seguido de las especie de Cumala, Copaiba blanca y Capirona con (4616, 4583 y 4580 kcal/kg respectivamente) y la especie que presento un menor PCS fue el Shihuahuaco con 4555 kcal/kg.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Aristegui, A. (1982). Recopilación y análisis de estudios tecnológicos de maderas peruanas. PNUD/FAO/PER/81/002
2. CUBASOLAR. (s.f.). Combustibles sólidos de baja densidad. La densificación de la biomasa: briquetas, pellets, pacas (Segunda parte). <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>- 14k-
3. EMBACUBA. (s.f.). Cuba y la UNESCO > Ciencia > PO: Energía XXI. Ministerio de Relaciones Exteriores de la República de Cuba. <http://embacuba.cubaminrex.cu/Default.aspx?tabid=5682>- 44k
4. Francisco, M. (2013). Función de la humedad en las briquetas de aserrín. En línea con [www.tareafacil.com.ar](http://www.tareafacil.com.ar).
5. Krumbein, W. & Sloss, L. (1963). Stratigraphy and Sedimentation. W. H. Freeman and Co.
6. Martins, H. (1990). Uso de Madeira para fines energético. Belo Horizonte.
7. NTP. (1980). Norma Técnica Nacional. Método de determinación del contenido de humedad. Norma 251.010. Perú.
8. Ortiz, L. (2012). Densidades de diferentes materiales orgánicos. [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
9. Ortiz, L., Tejada, A., Vásquez, A. y Piñeiro, G. (1994). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena Monte-Industria de Galicia. (PROFIT) del Ministerio de Ciencia y tecnología. Revista CIS-Madera, 17-32. <http://www.cismadera.com/galego/downloads/biomasa3.pdf>
10. Sibille, A. M. (2006). Guía de procesamiento industrial LKTS, Perú. Guía de procesamiento de especies de madera alternativas. [https://issuu.com/raul.dance22/docs/gu\\_a\\_de\\_procesamiento\\_industrial\\_especies\\_forestal](https://issuu.com/raul.dance22/docs/gu_a_de_procesamiento_industrial_especies_forestal)
11. Universidad de Valladolid. (2012). Utilización energética de la biomasa en línea. [https://alojamientos.uva.es/guia\\_docente/uploads/2012/428/51973/1/documento3.pdf](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/428/51973/1/documento3.pdf)

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### **Declaración de responsabilidad de autoría**

Los autores del manuscrito señalado, DECLARAMOS que hemos contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, estamos en condiciones de hacernos públicamente responsable de él y aceptamos que sus nombres figuren en la lista de autores en el orden indicado. Además, hemos cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Manuel Iván Salvador Cárdenas, Herbert Oldemar Valerio Requiz, Lenin Vladimir Vargas Villa, Isaías Alberto Salinas Andrade y Edwin Tayson Fernández Ruiz: Proceso de revisión de literatura y redacción del artículo.