

## Caracterización de la biomasa vegetal aserrín de pino

### Biomass characterization of pine sawdust

Angel Rafael Pérez-Vinent<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7028-8706>

Nurian Serret-Guasch<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0610-9288>

Margarita Penedo-Medina<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1423-0109>

Facultad de Ingeniería Química y Agronomía. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

\*Autor para la correspondencia: correo electrónico: [angelr.perez@uo.edu.cu](mailto:angelr.perez@uo.edu.cu)

#### RESUMEN

El análisis de tamizado, análisis próximo, densidad real y aparente de aserrín de pino fueron estudiados como parte de los estudios de aplicación de esta biomasa vegetal, en procesos de pirolisis y gasificación. El análisis de tamizado fue aplicado para determinar el diámetro promedio de partículas según diferentes definiciones; se ajustaron los modelos de Gaudin-Andreiev y de Rozin-Rammler para obtener el modelo matemático de distribución de tamaño. Se determinó la densidad real y aparente de la biomasa y se realizó el análisis próximo por la norma internacional GOST 2851-45. Como resultado se obtuvo que el diámetro de Sauter fue 0,37mm. El modelo con mejor ajuste para los datos de distribución de tamaño fue el de Rozin-Rammler. La densidad real, aparente y la porosidad resultaron 468,05kg/m<sup>3</sup>, 177,11kg/m<sup>3</sup> y 0,75 respectivamente. El análisis próximo mostró que el contenido de humedad, de materia volátil, carbono fijo y de ceniza fue de 7,65 %, 83,54 %, 16%,10 % y 0,37 % respectivamente. Las propiedades

del aserrín de pino muestran su potencialidad como materia prima para generación de combustibles o portadores energéticos, aplicando procesos de pirolisis y gasificación.

**Palabras clave:** aserrín de pino; diámetro medio; análisis próximo; densidad.

## **ABSTRACT**

Sieving analysis, close analysis, real and apparent density of pine sawdust were studied as part of the application studies of this plant biomass, in pyrolysis and gasification processes. Sieving analysis was applied to determine the average diameter of particles according to different definitions; Gaudin-Andreiev and Rozin-Rammler models were adjusted to obtain the mathematical model of size distribution. The real and apparent density of the biomass was determined and the next analysis was carried out by the international standard GOST 2851-45. As a result, it was obtained that the Sauter diameter was 0.37mm. The model with the best fit for the size distribution data was the Rozin-Rammler model. The real and bulk density and porosity were 468.05kg/m<sup>3</sup>, 177.11kg/m<sup>3</sup> and 0.75 respectively. The next analysis showed that the content of moisture, volatile matter, fixed carbon and ash were 7.65%, 83.54%, 16%, 10% and 0.37%, respectively, porosity 0,75. The properties of pine sawdust show its potential as a raw material for the generation of fuels or energy carriers, applying pyrolysis and gasification processes.

**Keywords:** Pine sawdust; mean diameter; proximate analysis; density.

Recibido: 10/04/2022

Aceptado: 18/07/2022

## **Introducción**

A mediados del siglo XIX, los combustibles provenientes de la biomasa cubrían la demanda energética de la sociedad; siendo sustituidos por los combustibles fósiles posteriormente, en la era de la industrialización.<sup>(1)</sup> El carácter no renovable de estos últimos, unido a la contaminación atmosférica que generan, han impulsado el desarrollo de procesos que utilicen fuentes renovables como materia prima fundamental para la generación de energía.<sup>(2)</sup> La biomasa se puede transformar en energía o en portadores energéticos, por la vía de conversión termoquímica y por conversión bioquímica. Estos procesos constan de etapas previas de recolección, almacenamiento, transporte, secado, molienda y otros donde se trata la biomasa antes de pasar a las etapas de conversión. De ahí la necesidad de evaluar propiedades físicas y químicas tales como la densidad, fluidez, tamaño de partícula, humedad, cenizas, materia volátil, composición elemental; triturabilidad, contenido energético y propiedades térmicas; necesarias en los cálculos de ingeniería.<sup>(3)</sup> La determinación de propiedades físicas y químicas ha sido emprendida por múltiples investigadores dedicados a los procesos de conversión de biomasa.<sup>(4, 5, 6, 7, 8, 9)</sup>

Las características granulométricas de sistemas particulados, se pueden conocer ya sea por análisis de tamizado, microscopía y pruebas de sedimentación. A partir de análisis de tamizado, aplicado comúnmente en la caracterización de biomasa vegetal, se puede determinar el diámetro de partícula promedio de una muestra, ya sea aplicando el método diferencial o el método acumulativo.<sup>(10)</sup> En general, el análisis granulométrico de muestras de biomasa vegetal ha permitido comprobar que las mismas suelen exhibir una distribución logarítmica, lo cual indica que predominan las partículas más pequeñas.<sup>(3)</sup>

Otra propiedad física de la biomasa es la densidad, la cual representa la relación entre la masa de material y el volumen que ocupa. Se diferencian dos tipos de densidad: densidad real y densidad aparente. La densidad real es el cociente de la masa de material y el volumen que ocupa excluyendo los espacios que hay entre las distintas partículas. La densidad aparente de un sólido es la masa de material correspondiente a la unidad de volumen ocupado por el mismo; y resulta

menor que la densidad real de las partículas, debido a los espacios huecos o vacíos existentes entre las partículas que forman el conglomerado.<sup>(9)</sup> Datos reportados de densidad real de aserrín de pino muestran que sus valores oscilan entre 122,8 y 436,0 kg/m<sup>3</sup>.<sup>(4, 5, 11, 12)</sup>

El análisis próximo de la biomasa consiste en la determinación del contenido de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo. El contenido de humedad representa la cantidad de agua en la biomasa, expresada como porcentaje en peso del material. El contenido de cenizas representa la cantidad de residuo sólido que queda después que la muestra de biomasa se quema por completo; las cenizas tienen como componentes principales óxido de sílice, aluminio, hierro, calcio, magnesio, titanio, sodio y potasio.<sup>(13)</sup> Conocer la presencia de cenizas y su composición, permite predecir la tendencia a formar incrustaciones en calderas y la composición del carbón producido por ejemplo en la pirolisis o gasificación de la biomasa.<sup>(14)</sup> El vapor condensable y gases incondensables, liberados en la descomposición térmica de la biomasa constituyen la materia volátil (excluyendo el vapor de agua). En la medida en que el contenido de materia volátil en la biomasa es mayor, se debe esperar un mayor rendimiento de bio-oil en procesos de pirolisis de biomasa.<sup>(15)</sup> El carbono fijo es el residuo combustible sólido que queda después de calentar la biomasa y eliminada la materia volátil.

En la tabla 1 se muestran datos de análisis próximo de varios tipos de biomasa.<sup>(16, 17, 18)</sup> Se aprecia en la biomasa lignocelulósica su alto contenido de materia volátil (MV) si se compara con el contenido en combustibles fósiles como el lignito y el carbón mineral; mientras que el contenido de cenizas exhibe valores inferiores en la biomasa que en los combustibles fósiles.<sup>(19)</sup>

**Tabla 1-** Caracterización de diferentes tipos de biomasa

Biomosas	Análisis inmediato				Referencias
	Hum. %	MV, % (bs)	Cen. % (bs)	CF, % (bs)	
Bagazo de caña	16,07	79,6	4,34	-	(16)
Cascarón de coco	11,26	85,4	3,38	-	(16)
Tallo de tabaco	8,54	65,5	9,97	16,0	(17)
Aserrín de pino	5,01	77,7	0,34	16,94	(17)
Cáscara de arroz	11,4	65,9	17,0	17,1	(18)
Aserrín	9,1	81,8	0,2	18,0	(18)
Cascarilla de café	13,1	73,2	3,7	23,1	(18)
Lignito	10,5	36,7	34,6	28,7	(19)
Carbón mineral	5,5	32,8	20,9	46,3	(19)

En regiones urbanas y montañosas de Cuba se generan anualmente ~400 toneladas de aserrín Pino Cubano (*Pinus cubensis*).<sup>(20)</sup> La provincia Santiago de Cuba cuenta con un total de 58 aserríos, ubicados en zonas rurales y en algunas zonas urbanas; acumulándose en grandes cantidades. El aserrín es un material orgánico poli disperso, conformado por partículas pequeñas (< 6 mm).<sup>(21)</sup> Su humedad suele ser superior a un 10 % y el contenido de cenizas superior al 0,3 %.<sup>(5)</sup> El uso más extendido del aserrín está en la fabricación de tableros de madera aglomerada.<sup>(22)</sup> El aserrín residual no aprovechado puede ser valorizado como fuente de energía, por procesos de termo conversión como son la pirólisis y la gasificación.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar propiedades físicas y químicas de aserrín de pino, proveniente de zonas forestales de la localidad de El Brujo, en Santiago de Cuba; entre ellas el análisis granulométrico por tamizado y evaluación de los modelos de distribución de tamaño, determinación de la densidad y porosidad; contenido de humedad, materia volátil, carbono fijo y cenizas; todo ello como parte de las tareas de investigación que se acometen sobre la pirólisis de aserrín de pino, en la Facultad de Ingeniería Química y Agronomía de la Universidad de Oriente.

## Materiales y métodos

La biomasa aserrín de pino (*Pinus cubensis*) fue recolectada en el aserrío de zonas forestales El Brujo en Santiago de Cuba. Las muestras se seleccionaron aplicando el método de cuarteo manual de Cono y anillo.

Para desarrollar el análisis granulométrico se utilizó un juego de tamices con la secuencia de tamaños siguiente: 2,0 mm, 1,4 mm, 1,0 mm; 0,71 mm; 0,50 mm; 0,30 mm; 0,14 mm y la bandeja inferior. Se pesó la muestra de aserrín a tamizar, y se realizó el tamizado en un tiempo de 20 min.

El diámetro promedio de la muestra se determinó por el método acumulativo y por el método diferencial.<sup>(10)</sup> Por el método acumulativo, se representan las curvas de fracción cernida,  $X_i$  vs  $D_{pi}$ ; y de fracción retenida  $Y_i$  vs  $D_{pi}$ ; siendo  $D_{pi}$  el diámetro promedio correspondiente a dos tamices consecutivos. Las fracciones de cernido y retenido se determinan por las expresiones:

$$X_i = 1 - \sum \Delta x_i \text{ clases superiores} \quad (1)$$

$$Y_i = \sum \Delta x_i \text{ clases superiores} \quad (2)$$

El diámetro medio o tamaño promedio de las partículas de una muestra puede obtenerse en el punto de intersección de la curva de fracción retenida ( $Y_i$ ) y la curva de fracción cernida ( $X_i$ ). Por el método diferencial se relaciona la fracción másica de cada clase de tamaño con su diámetro medio. A partir de dicha información se puede determinar el diámetro medio por las definiciones que se muestran a continuación; en dichas expresiones,  $\overline{D_p}$  es el diámetro promedio de la muestra, mm; y  $D_{pi}$  el diámetro medio de la clase, mm.<sup>(23)</sup>

Diámetro de la partícula cuyo volumen es igual al volumen medio de todas las partículas presentes en la muestra, ecuación (3). Diámetro de la partícula cuya área superficial es igual a la media de las áreas superficiales de todas las partículas presentes en la muestra, ecuación (4). Diámetro de la partícula cuya relación volumen/superficie  $(\overline{D_p^3}/\overline{D_p^2})$ , es la misma para todas las partículas presentes en la muestra (Diámetro medio de Sauter), ecuación (5).

$$\overline{D_{pv}}^3 = \frac{1}{\sum \frac{\Delta x_i}{D_{pi}^3}} \quad (3)$$

$$\overline{D_{ps}}^2 = \frac{\sum \frac{\Delta x_i}{D_{pi}}}{\sum \frac{\Delta x_i}{D_{pi}^3}} \quad (4)$$

$$\overline{D_p} = \frac{1}{\sum \frac{\Delta x_i}{D_{pi}}} \quad (5)$$

La distribución granulométrica puede describirse matemáticamente por diferentes modelos de la forma  $X = X(D_{pi})$ , los cuales resultan necesarios en cálculos de instalaciones tecnológicas. En el desarrollo de los modelos se supone que, tanto el tamaño de partícula como las frecuencias usadas de la distribución de tamaño son variables continuas. Entre los modelos más utilizados se encuentran los siguientes: <sup>(10, 23)</sup>

#### Modelo Gaudin-Andreiev

$$X = c(D_{pi})^n \quad (6)$$

donde

$c$  y  $n$  son constantes. El valor de  $c$  se determina como el inverso del diámetro máximo de la muestra  $D_{p_{máx}}$ :

$$c = \frac{1}{(D_{p_{máx}})^n} \quad (7)$$

Al aplicar este modelo se espera un comportamiento lineal de la función en escala logarítmica.

$$f(D_{p_i}) = \ln X = \ln c + n \ln(D_{p_i}) \quad (8)$$

### Modelo Rosin-Rammler

$$X = 1 - e^{-s(D_{p_i})^n} \quad (9)$$

donde

$s$  y  $n$  son constantes. Según este modelo, se espera un comportamiento lineal de  $x$  en escala doble logarítmica para  $(1 - X)$  y logarítmica para  $D_{p_i}$ .

$$f(D_{p_i}) = \ln\left(\ln \frac{1}{1-X}\right) = \ln s + n \ln(D_{p_i}) \quad (10)$$

Para determinar la densidad real se utilizó el método del picnómetro, utilizando picnómetros de 50 ml. Las muestras de aserrín ( $m_b = 1$  g) se colocaron en cada picnómetro; realizándose tres determinaciones (réplicas). El líquido utilizado en las determinaciones fue el keroseno, con densidad de 800 kg/m<sup>3</sup> a una temperatura de 27°C. Por el método del picnómetro se determinó el volumen ocupado por la biomasa,  $V_b$  y con la masa colocada en el picnómetro se calculó la densidad real:

$$\rho_r = \frac{m_b}{V_b} \quad (11)$$

Para determinar la densidad aparente se pesó una probeta de 500 mL ( $m_{pr}$ ); se adicionó la biomasa hasta completar el volumen de la probeta, y se volvió a pesar nuevamente ( $m_{pr,b}$ ); el peso de la biomasa se halló por diferencia ( $m_b$ ). La densidad aparente se determinó mediante la ecuación (12):

$$\rho_a = \frac{m_b}{V_p} \quad (12)$$

La densidad real resulta mayor que la densidad aparente; y con ambas se determinó la porosidad del material:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (13)$$

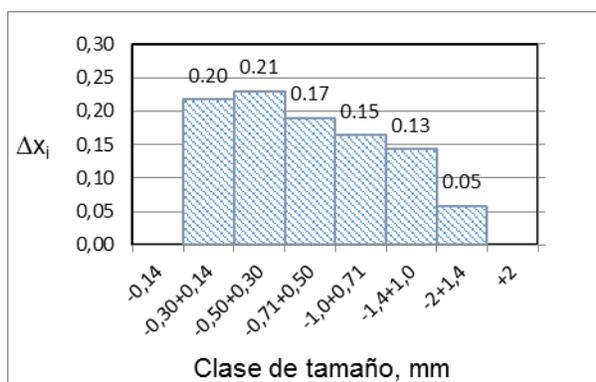
La determinación del contenido de humedad, compuestos volátiles, carbono fijo y cenizas de la biomasa se realizó por la norma internacional GOST 2851-45. Se utilizaron los equipos siguientes: Balanza Analítica SARTORIUS, Modelo BP124S; Balanza Técnica SARTORIUS, Modelo BS2202S; Estufa DHG-9146A, electrotérmica. Mufla Nabertherm, Modelo L9/S; Tamizadora VEBMLM LABORTECHNIK ILMENAU. El procedimiento experimental y ecuaciones de cálculo se reportan en trabajos previos.<sup>(5)</sup>

## Resultados y discusión

En la tabla 2 se muestra el resultado del análisis granulométrico del aserrín de pino. El gráfico de frecuencia (figura 1) muestra que las tres clases de tamaño predominantes en la muestra integral fueron: (-0,71+0,50) mm, con 17,44% en peso; (-0,50+0,30) mm, con 21,26% en peso y (-0,30+0,14) mm, con 20,04% en peso.

**Tabla 2-**Análisis por tamizado para la muestra de aserrín de pino

Clases de tamaño mm	Dpi mm	Peso g	$\Delta X_i$	Cernido $X_i$	Retenido $Y_i$	$\frac{\Delta x_i}{D_{pi}}$	$\frac{\Delta x_i}{D_{pi}^3}$
(+2,00)	2,00	4,28	0,0288	1	0	0,0144	0,0036
(-2,00+1,40)	1,70	7,92	0,0532	0,9712	0,0288	0,0313	0,0108
(-1,40+1,00)	1,20	19,69	0,1323	0,9180	0,0820	0,1102	0,0766
(-1,00+0,71)	0,86	22,50	0,1512	0,7858	0,2142	0,1768	0,2377
(-0,71+0,50)	0,61	26,04	0,1749	0,6346	0,3654	0,2892	0,7707
(-0,50+0,30)	0,40	31,64	0,2126	0,4597	0,5403	0,5314	3,32
(-0,30+0,14)	0,22	29,83	0,2004	0,2471	0,7529	0,9109	18,82
(-0,14)	0,07	6,95	0,0467	0,0467	0,9533	0,6670	136,13
Muestra total		148,9	1,0000	0	1		



**Fig.1-** Distribución de frecuencia de las clases de tamaño de la muestra de aserrín de pino

A partir de los resultados de análisis de tamizado (tabla 2), y aplicando las ecuaciones (3), (4) y (5), se obtuvieron los valores del diámetro promedio de la muestra integral (MI) de aserrín de pino:

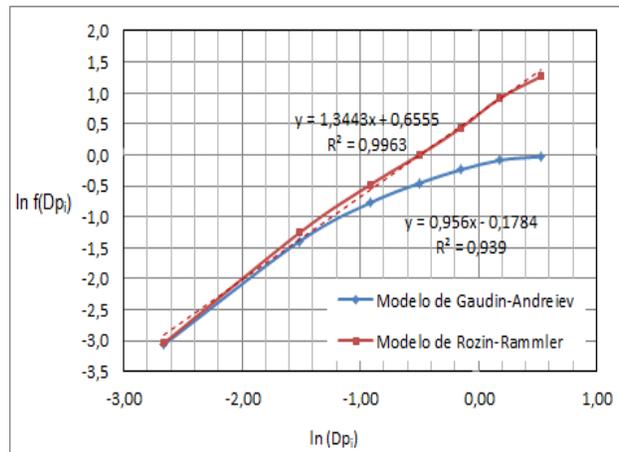
- Diámetro medio de Sauter,  $\bar{D}_p = 0,3666$  mm
- Diámetro volumétrico medio,  $\bar{D}_{p_v} = 0,1847$  mm
- Diámetro superficial medio,  $\bar{D}_{p_s} = 0,1308$  mm

La tabla 3 muestra el resultado de las funciones  $f(D_{pi})$  correspondientes a los modelos de Gaudin-Andreiev (columna 4) y de Rozin-Rammler (columna 5). En la figura 2 se muestran las funciones y los modelos lineales ajustados según las ecuaciones (8) y (10). El mejor ajuste correspondió al modelo de Rozin-Rammler, con  $R^2 = 0,9963$ , mayor que el obtenido para el modelo de Gaudin-Andreiev,  $R^2 = 0,939$ . Los parámetros y modelo de Rozin-Rammler son los siguientes:

$$\ln s = 0,655 \quad n = 1,3443 \quad X = 1 - e^{-1,9261(D_{pi})^{1,3443}} \quad (14)$$

**Tabla 3-** Funciones  $f(D_{pi})$  de los modelos de Gaudin-Andreiev y Rozin-Rammler

D <sub>pi</sub> mm	X <sub>i</sub>	ln D <sub>pi</sub>	$f(D_{pi}) = \ln X_i$	$f(D_{pi}) = \ln \left( \ln \frac{1}{1-X} \right)$
2,00	1	0,6931	0,0000	
1,70	0,9712	0,5306	-0,0292	1,2666
1,20	0,9180	0,1823	-0,0855	0,9169
0,86	0,7858	-0,1508	-0,2411	0,4322
0,61	0,6346	-0,4943	-0,4548	0,0067
0,40	0,4597	-0,9163	-0,7773	-0,4852
0,22	0,2471	-1,5141	-1,3980	-1,2594
0,07	0,0467	-2,6593	-3,0642	-3,04038



**Fig.2-** Modelos de distribución granulométrica del aserrín de pino

Los resultados de densidad real y aparente, y de porosidad de la MI de biomasa fueron los siguientes:

$$\rho_r = 468,05 \text{ kg/m}^3; \rho_a = 177,11 \text{ kg/m}^3 \text{ y } \varepsilon = 0,75.$$

La densidad aparente del aserrín de pino concuerda con lo reportado por otros autores:  $122,8 \text{ kg/m}^3$  <sup>(12)</sup> para el aserrín de pino;  $163 \text{ kg/m}^3$  para biomasa integral de guandú, y  $15\text{-}200 \text{ kg/m}^3$  para paja de cereales <sup>(24)</sup>,  $140 \text{ kg/m}^3$  y porosidad  $0,868$  para aserrín de pino ( $D_{pi} \leq 0,5 \text{ mm}$ ).<sup>(25)</sup> La densidad real obtenida en este trabajo ( $468,05 \text{ kg/m}^3$ ) fue comparable con el valor de  $436 \text{ kg/m}^3$ , obtenido para aserrín de *Pinus duranguenses*. <sup>(11)</sup>; para aserrín de *pinus patula* se reportó un valor inferior de  $307 \text{ kg/m}^3$ .<sup>(4)</sup>

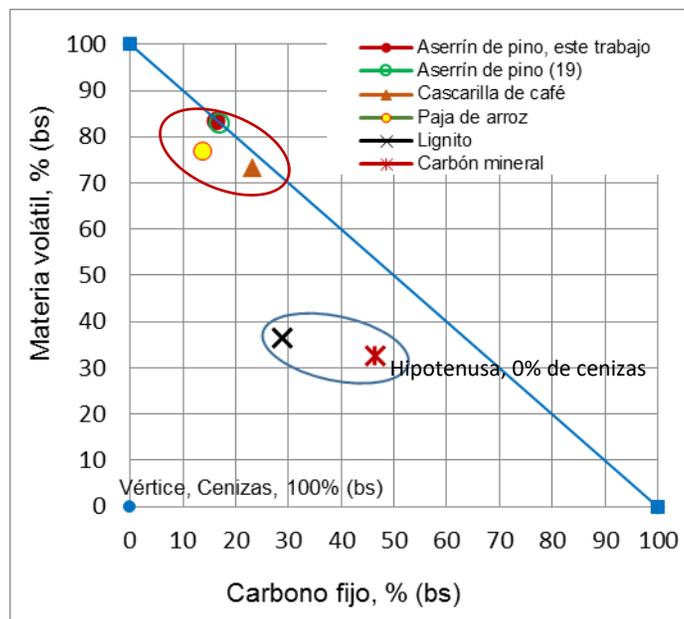
Los resultados del análisis próximo del aserrín se muestran en la tabla 4. El contenido de humedad de la MI y de las diferentes clases, estuvieron entre  $6,23 \%$  y  $8,26 \%$ . El contenido de materia volátil tuvo valores entre  $82,69 \%$  y  $84,43 \%$ . El contenido de carbono fijo tuvo valores entre  $15,86 \%$ , y  $18,13 \%$ . El valor mayor de contenido de MV ( $84,43$ ) y el menor valor de carbono fijo ( $15,26 \%$ ) se obtuvo para la clase con  $D_{pi}=0,4 \text{ mm}$ . El contenido de cenizas del aserrín de pino fue muy bajo

entre 0,22 y 0,40%; resultando menor que el contenido en otras biomásas, y mucho menor que en los combustibles fósiles (tabla 1; figura 3).

**Tabla 4-** Resultados del análisis próximo de la muestra integral de aserrín de pino y las clases de tamaño

		Hum. %	MV %	Cen. %	CF %
$D_{pi}$ , mm	(MI)	7,65±0,17	83,54±0,60	0,37±0,01	16,10±0,60
0,22	(-0,30 +0,14)	8,13±0,48	82,69±1,48	0,28±0,03	17,03±1,45
0,4	(-0,50 +0,30)	8,09±0,21	84,43±0,58	0,31±0,06	15,26±0,63
0,61	(-0,71 +0,50)	7,06±0,79	83,18±0,28	0,41±0,08	16,41±0,22
0,86	(-1,00+0,71)	6,23±0,63	83,20±1,68	0,33±0,012	16,46±1,66
1,2	(-1,40+1,00)	8,26±0,28	83,07±0,51	0,25±0,06	16,68±0,56
	Promedio de las clases	7,55	83,31	0,32	16,37

En la figura 3 se muestra el contenido de MV y CF de diferentes biomásas. Las biomásas tienen un contenido de materia volátil mayor que el carbón mineral y el lignito, menor contenido de carbono fijo y mucho menor contenido de cenizas (los puntos correspondientes a las biomásas se ubican cercanos a la hipotenusa del triángulo, con 0% de cenizas).



**Fig. 3-** Contenido de materia volátil, carbono fijo y cenizas de diferentes biomásas de origen vegetal, carbón mineral y lignito

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo permitieron evaluar el comportamiento de las características granulométricas del aserrín de pino, obteniéndose que el diámetro medio de partícula fue 0,366 6 mm. Se evaluaron los parámetros de los modelos de Gaudin-Andreiev y de Rozin-Rammler, comprobándose que la distribución de tamaño es logarítmica, con el mejor ajuste para el modelo de Rozin-Rammler ( $R^2 = 0,996\ 3$ ), propio de muestras en que predominan las partículas de menor tamaño. La densidad real, aparente y porosidad para el aserrín de pino fueron: 468,05 kg/m<sup>3</sup>, 177,1 kg/m<sup>3</sup> y 0,75 respectivamente. El contenido de volátiles, carbono fijo y cenizas fue de 83,54%, 16,10% y 0,37% respectivamente, para la muestra integral, concordando con lo reportado para otros tipos biomásas.

En sentido general se debe resaltar que: para utilizar este tipo de biomasa de baja densidad aparente con fines energéticos, se debe compactar para aumentar la

misma ya sea en forma de pellets o briquetas; lo cual permitirá lograr mayor eficiencia de calderas, al mejorar la combustión. La biomasa vegetal tiene un contenido de materia volátil mayor que los combustibles fósiles, menor contenido de carbono fijo y mucho menor contenido de cenizas. Ello explica que de la biomasa vegetal se pueda extraer una cantidad mayor de especies orgánicas por pirolisis.

### Referencias bibliográficas

1. BASTIDAS ITURRALDES, D.X, N.A. MIÑO PUENTE. *Caracterización comparativa del proceso del proceso de pirolisis de dos biomásas*. Trabajo de titulación. M, Rosero Espín (dir.). Universidad de Quito, 2019.
2. GOMEZ, E. A, LA, RÍOS, J.D. PEÑA. Efecto del Pretratamiento de Biomasa Maderera en el Rendimiento a Etanol. *Scielo*. Dpto. de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. 2013, **24**(5). ISSN 0718-0764.
3. CAI J., Y. HE, X. YU, S.W. BANKS, Y. YANG, X. ZHANG, Y. YU, R. LIU, A.V. BRIDGWATER. Review of Physicochemical Properties and Analytical Characterization of Lignocellulosic Biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* .2017, **76**, pp.309-322.ISSN 1364-0321.
4. RÍOS, P.D.A., et al., Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de Pinus patula. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 2018. **38**. Disponible en: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1016>.
5. SERRET.GUASCH, N. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología Química: Universidad de Oriente*, 2016, **36** (3), pp.468-479.ISSN 2224-6185.
6. XUE, Q., R.O. FOX, Computational Modeling of Biomass Thermochemical Conversion in Fluidized Beds: Particle Density Variation and Size Distribution. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2015, **54**(16), pp, 4084–4094. ISSN 1520-5045 (Online)

7. LIN F, WATERS CL, MALLINSON RG, LOBBAN LL, BARTLEY LE. Relationships between biomass composition and liquid products formed via pyrolysis. *Frontiers in Energy Research*. 2015;**3**(45). Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2015.00045>
8. ARNOULT S, BRANCOURT-HULMEL M. A Review on miscanthus biomass production and composition for bioenergy use: genotypic and environmental variability and implications for breeding. *BioEnergy Research*. 2015, **54**(8) pp.502-526. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9524-7>
9. ISIKGOR FH, BECER CR. Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polymer Chemistry*. 2015; **6**, pp.4497-4559. ISSN 1759-9954
10. ROSABAL VEGA, J., GARCELL-PUYANS L. *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas T1*. Primera Edición. La Habana: Félix Varela. 2006. ISBN 959-258-983-6
11. SALAZAR RABAGO, J.J., ROBERTO RAMOS *Biosorption mechanism of Methylene Blue from aqueous solution onto White Pine (Pinus durangensis) sawdust: Effect of operating conditions*. *Sustainable Environment Research*, 2017, **27**(1), pp.32-40. ISSN 2468-2039
12. TRINDADE, J.D.S., Alain Collao. Produtividade do milho em três densidades de semeadura e duas alturas de corte. *Zootecnia. Ciencia Animal Brasileira*, 2017,**18**. ISSN 1809-6891.
13. VASSILEV SV, BAXTER D, ANDERSEN LK, VASSILEVA CG. An overview of the composition and application of biomass. Part 1. Phase–mineral and chemical composition and classification. *Fuel*. 2013; **105**, pp.40-76. ISSN 0123-3769.
14. NUNES LJR, MATIAS JCO, CATALÃO JPS. Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; **53**, pp.235-42. ISSN 1364-0321.
15. SINGH CHOUHAN A.P., K. SARMA. Critical analysis of process parameters for bio-oil production via pyrolysis of biomass: A review. *Recent Patents on Engineering*. 2013, **7**(2), pp. 98-114. ISSN 1872-2121.

16. TSAI, W , EE , M.K “Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2006, **76**(1), pp. 230-237.ISSN 0165-2370.
17. WEI, L, XU, SHAOPING “Characteristics of fast pyrolysis of biomass in a free fall reactor”. *Fuel Processing Technology*, 2006, **87**(10), pp. 863-871. ISSN 1873-7153.
18. Fonseca, F et al. Biomass briguetting and its perpectives in Brazil. *Biomass and Bioenergy*. 2011, , **35**(1), pp.236-242.ISSN 0961-9534.
19. VASSILEV S.V., D. BAXTER, L.K. ANDERSEN, Ch.G. VASSILEVA. An overview of the chemical composition of biomass ash. *Fuel-on line* .2010, **89** (5), pp.913–933. ISSN.1873-7153.
20. ESCALONA, F. J. A. S. R., and P.A. BEATON. *Pirolisis autotérmica en lecho fluidizado de aserrín de algarrobo*. *Tecnología Química*.Universidad.2010, **30** (2), pp.95-101. ISSN.0041-8420.
21. PINO ESCOBAR, H.A. *La adición de aserrín y poliestireno en la elaboración de bloques de adobe para vivienda unifamiliares y su efecto en la variación de temperatura y acondicionamiento acústico en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Tesis de fin de curso.MG. G. Nuñez. (dir.) Universidad Técnica de Ambato-Ecuador. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil ,2019. Publicación interna.
22. DEULOFEUTH CARRERA, C, D. *Incidencia de la adición del aserrín fino en las propiedades físicas de los ladrillos de arcilla*. Tesis de fin de curso.B.F. Modesto (dir.) Universidad de Cartagena, 2020.
23. CREMASCO, M. A. *Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos*. Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 2012. ISBN 978-85-212-0856-3
24. TANQUILUT M.R., J.C. ELAURIA, R.M. C. AMONGO, D.C. SUMINISTRADO, K.F. YAPTENCO, M.M. ELAURIA. Biomass Characterization of Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) Wood for Thermochemical Conversion.*Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 2019, **15**(1), pp.39-52. ISSN 0119-7312.

25. GAYOSSO-RODRÍGUEZ S., L. BORGES-GÓMEZ, E. VILLANUEVA-COUOH, M.A. ESTRADA-BOTELLO, R. GARRUÑA. Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*.2018, **52**(4), pp.639-652. ISSN 1405-3195.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses.

### **Contribución de los autores**

Angel Rafael Pérez Vinent: búsqueda y montaje de técnicas experimentales trabajo experimental de caracterización de biomasa. Procesamiento de datos, análisis de los resultados y redacción del informe.

Nurian Serret Guasch: búsqueda y montaje de técnicas experimentales trabajo experimental de caracterización de biomasa. Procesamiento de datos. Análisis de los resultados y redacción del informe.

Margarita Penedo Medina: diseño de la investigación, gestión de la bibliografía, análisis de los resultados, redacción y revisión del informe.