Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal

Characterization of the cane bagasse like vegetable biomass

MSc. Enma M. Manals-Cutiño, MSc. Margarita Penedo-Medina, MSc. Dolores Salas-Tort

Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad evaluar propiedades físicas y químicas de diferentes clases de tamaño de muestras de bagazo de caña, como parte del estudio de descomposición térmica de las mismas. Para la realización del análisis granulométrico del bagazo de caña se estudiaron dos muestras; obteniéndose una distribución muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, las mayores acumulaciones fueron obtenidas para partículas menores de 0,5 mm y hasta 1mm de diámetro. En este estudio se desarrollaron dos métodos: el Método Diferencial y el Método Acumulativo, obteniéndose diámetros promedio de las muestras aproximadamente iguales por ambos métodos, de manera que el diámetro promedio del bagazo de caña en general es de 0,453 mm. Aplicando la metodología experimental y en las instalaciones adecuadas se evaluaron las propiedades químicas de la biomasa estudiada: carbono fijo, volátiles, cenizas, humedad. Luego se determinó la influencia del tamaño de las partículas en las propiedades del bagazo de caña obteniéndose que para la humedad y el carbono fijo no existe una tendencia definida en estos parámetros. En el caso del contenido de volátiles existe una tendencia al aumento de este contenido con el aumento del diámetro de las partículas, ocurriendo lo contrario para el contenido de cenizas. Se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa entre la media de cada uno de estos parámetros entre un nivel de Dpi y otro, excepto para el caso del carbono fijo.

Palabras clave: caracterización de biomasas, bagazo de caña, caracterización granulométrica.

ABSTRACT

In this work were evaluated physical and chemical properties of different classes of size of samples of bagasse cane, like part of the study of thermal decomposition of the same ones. Two samples were studied; being obtained a very varied distribution, from a fine powder until irregular particles of great size, the biggest accumulations were obtained for particles smaller than 0,5mm and up to 1mm of diameter. In this study two methods were developed: the Differential Method and the Accumulative Method, being obtained diameters average of the approximately same samples by both methods, so that the diameter average of the bagasse cane in general is of 0,453mm. Applying the experimental methodology and in the appropriate facilities the chemical properties of the studied biomass were evaluated: fixed, volatile, ashy carbon, humidity. Then the influence of the size of the particles was determined in the properties of the cane trash being obtained that for the humidity and the fixed carbon doesn't exist a tendency defined in these parameters. In the case of the content of volatile a tendency exists to the increase of this content with the increase of the diameter of the particles, happening the opposite for the content of ashy. A difference was obtained statistically significant among the stocking of each one of these parameters among a level of Dpi and other, except for the case of the fixed carbon.

Keywords: characterization of biomasses, bagasse cane, size characterization.

INTRODUCCIÓN

La biomasa lignocelulósica es una mezcla compleja de polímeros de carbohidratos conocidos como celulosa, hemicelulosa, lignina y pequeñas cantidades de otras sustancias como extractables y cenizas, los cuales están contenidos en la pared celular de las plantas [4].Los diferentes tipos de biomasa constituyen un recurso vital como fuente de energía en los países menos desarrollados del planeta, y cobra mayor atención en la actualidad, sobre todo en los países industrializados. Además, se conoce que pueden utilizarse como fuentes de obtención de carbón vegetal, biocombustibles líquidos y gaseosos, sustancias orgánicas, por procesos de descomposición térmica como la pirolisis y la gasificación.El proceso de pirolisis consiste en la descomposición de la biomasa por la acción del calor en ausencia de oxígeno. Existen diferentes tipos de pirolisis, siendo la pirolisis rápida una de las vías por las que se obtienen los mayores rendimientos de líquidos. Estos rendimientos y los tipos de pirolisis en sí, dependen de características relacionadas a la influencia de los parámetros: la velocidad de calentamiento, temperatura, presión y el tiempo de residencia de las sustancias en la pirolisis[7].

Nuestro país cuenta con residuos de biomasa muy diversos: el bagazo y la paja de caña, la cascarilla de café, cascarilla de arroz, conchas de coco, residuos de tabaco, aserrín de diversas plantas maderables, entre otras; estas se acumulan localmente en los lugares donde se generan, constituyendo en muchas ocasiones fuentes de contaminación ambiental. Actualmente se desarrollan investigaciones de pirolisis y gasificación, las cuales requieren el conocimiento de las características de descomposición térmica de la biomasa,para garantizar el rendimiento adecuado de los diferentes productos. Siendo el objetivo de este trabajo evaluar propiedades

físicas y químicas de diferentes clases de tamaño de muestras de bagazo de caña, como parte del estudio de descomposición térmica de las mismas.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Las biomasas que se someterán a procesos de termoconversión suelen caracterizarse previamente atendiendo a las siguientes propiedades: humedad, carbono fijo, volátiles, ceniza, así como el análisis elemental de componentes como el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (C-H-O-N). Estas propiedades varían en dependencia del material que se analicen. Rocca [5] realizó la pirolisis de dos especies nativas de madera dura (Aspidosperma Quebracho Blanco Schlecht, (AQB) y Aspidosperma Australe, (AA). Las mismas tienen un contenido considerable de materias volátiles similares al porcentaje de carbono; el contenido de cenizas es mayor para la AA, sugiriendo diferente composición; mientras que el contenido de carbono y el contenido de hidrógeno en AQB es más alto que en AA.

Asadullah[1] obtuvo biocombustibles a partir del bagazo de caña producido por la pirolisis en un reactor de lecho fijo en un rango de temperatura de (300ºC a 600ºC), previamente se redujo el contenido de humedad a valores menores del 10%. Luego el bagazo fue aplastado en una máquina de trituración alcanzando un tamaño de partícula entre (0,5-1,0mm). A continuación las propiedades obtenidas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Propiedades físicas-químicas del bagazo de caña.0

Humedad (%)	4
Tamaño de partícula (mm)	0,5-1,0
Densidad (g/cc)	0,12
Volátil (%)	68-70
Cenizas (%)	1,26
Carbón fijo (%)	28,7-30,7
C (%)	48,58
H (%)	5,97
O (%)	38,94
N (%)	0,20

Erlich [3] determinó las características termoquímicas de los gránulos del bagazo de caña de diferentes tamaños y orígenes, utilizando diferentes temperaturas (600,700 y 900 ºC) y velocidades de flujos de gas (4,7 y 10 L/min) con concentraciones variables de oxígeno (5, 10 y 15) % en mezclas con nitrógeno. En la tabla 2 se muestran los resultados alcanzados.

Tabla 2
Composiciones químicas y densidad de los gránulos del bagazo

Composición Química	Origen del Bagazo y Diámetro de los gránulos		
	Cuba(6mm)	Brasil(6mm)	Brasil(12mm)
C	46,9	47,0	47,2
N	0,18	0,21	0,24
H	5,49	5,98	5,77
O	47,4	46,8	46,8
Humedad	16,3	6,7	6,6
Ceniza	1,7	5,5	5,5
Densidad(kg/m^3)	1030-1150	1100-1260	1030-1090

Influencia del tamaño de partícula en las propiedades de la biomasa y en los rendimientos de los productos de pirólisis

Las relaciones entre los parámetros determinados para caracterizar las biomasas nos permiten poder adecuar las mismas para elevar los rendimientos de los productos deseados y trazar estrategias en el desarrollo de los procesos de conversión. Bridgeman, [2] estudia dos cultivos energéticos, que son dos tipos de pastos (pasto varilla y pasto cinto o hierba cinta) que han sido procesadas usando molinos de bola y se dividen en dos fracciones de tamaño (menores que 90 µm y entre 90-600 µm). Los resultados indican que las partículas más pequeñas de los dos pastos tienen una concentración significativamente más alta de materia inorgánica, y de contenido de humedad que las partículas más grandes. En contraste, las fracciones de tamaño más grandes tenían un contenido de carbono más alto, y menor contenido de nitrógeno, dando como resultado altos valores calóricos. El contenido de volátil fue también mayor en la fracción de tamaño más grande. A continuación se muestra lo antes planteado (tabla 3).

Tabla 3
Propiedades obtenidas en el análisis de dos pastos (RCG) y (SW)

%	RCG < 90 µm	RCG > 90 µm	SW< 90 µm	SW > 90 µm
Humedad	6,45	5,71	8,64	7,93
Cenizas	6,0	3,62	6,88	3,12
Volátiles	72,62	74,89	70,58	72,57
Carbono fijo	14,92	15,78	13,9	13,37
C	43,56	44,9	42,33	44,32
H	6,1	6,14	5,98	5,99
N	0,47	<0,04	0,23	0,03
O	37,65	39,07	37,58	38,24

Demirbas, [6] estudia el efecto de la temperatura y el tamaño de las partículas en los rendimientos de carbón obtenidos por pirólisis de residuos agrícolas. Estas muestras fueron molidas y cernidas, obteniéndose tamaños entre (0,5 - 2,2) mm. Al caracterizar estas muestras los mayores contenidos de volátiles se obtuvieron para los residuos de mazorcas de maíz con un 84,6 %. El rendimiento de carbón se favorece como resultado de la pirólisis a bajas temperaturas y bajas velocidades de calentamiento. De este estudio se concluye que cuando las temperaturas se incrementan decrecen los rendimientos de carbono, además estos rendimientos se

incrementan para el incremento de los tamaños de las partículas en las muestras como se observa en la figura 1.

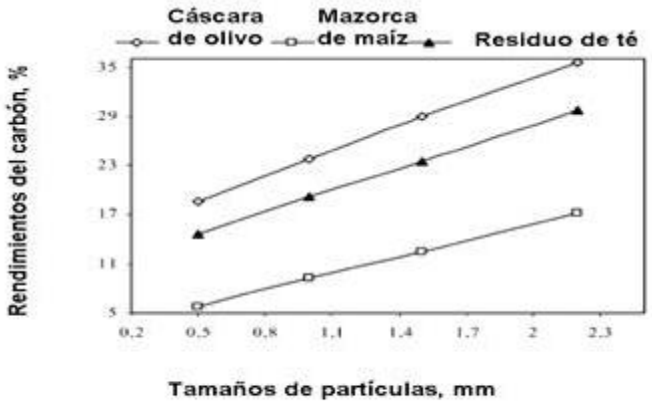

Fig. 1 Efecto de tamaño de partículas en rendimientos de bio-carbón

MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

Materia Prima: bagazo de caña.

Equipos:

- Balanza Analítica SARTORIUS. Modelo BP124S. (máximo de 120 g y mínimo de 0,1 mg, voltaje de 115-230V, 50-60Hz). (Alemana)
- Balanza Técnica SARTORIUS. Modelo BS2202S. (Alemana)
- Estufa modelo DHG-9146A, electrotérmica, temperatura máxima. 200 ºC. (China)
- Desecadora con cama desecante de sílica gel.
- Mufla: Nabertherm. Modelo L9/S. (máximo de 1100°C) (voltaje 230V, 50-60Hz, 13A y 3KW) (Alemana).
- Tamizadora VEBMLM LABORTECHNIK ILMENAU. (voltaje 220V y 60Hz).

Análisis granulométrico por tamizado. Separación y clasificación de sólidos[9]

Se procedió primeramente a la selección de las muestras de bagazo de caña, se aplicó el método de cuarteo manual de Cono y Anillo, dos veces, obteniéndose lo siguiente:

- Primer cuarteo, Muestra I con m 1,1 =71,16g y m 1,2 =72,58g
- Segundo cuarteo, Muestra II con m 2,1 =77,69 y m 2,2 =76,35g

Las muestras, según su masa, fueron colocadas en un juego de tamices con la siguiente estructura (tamaños de tamices: 19,05; 12,5; 9,5; 8,0; 6,3; 4,76; 2,0; 1,41; 1; 0,84; 0,71; 0,63; 0,5mm). El conjunto de tamices fue colocado en la tamizadora, por un tiempo 20 min; siendo suficiente para la efectividad de este proceso debido a que las muestras eran de paja y de naturaleza fibrosa [8].El análisis por tamizado permite calcular el diámetro promedio Dp, de las partículas contenidas en una muestra determinada. Calculándose a partir de la distribución diferencial.

$$Dp = \frac{1}{\sum\left(\frac{x_i}{Dp_i}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

x_i - (fracción en peso) Dp_i - (diámetro medio de la fracción x_i)

Determinación del contenido de humedad, compuestos volátiles, carbono fijo y cenizas

Para la determinación de estas propiedades se tomó en cada caso 1g de muestra correspondiente a cada uno de los diámetros de partículas obtenidos por la caracterización granulométrica.

Contenido de humedad:El contenido de humedad se determina secando en una estufa una muestra de carbón, y se puede expresar en base de sólido húmedo o en base de sólido seco. El procedimiento se repite hasta que la muestra alcanza un peso constante, lo cual indica que se ha secado completamente, perdiendo toda la humedad inicial. La humedad base seca se determina por la expresión:

$$\%Humedad = \frac{m_h - m_s}{m_s} \cdot 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

m_h: Masa de sólido húmedo, g. m_s: Masa de sólido seco, g.

Contenido de volátiles: La determinación del contenido de materia volátil se utiliza calentando una muestra, por peso de carbón seco, en ausencia de aire, a 900ºC, hasta que el peso sea constante. La pérdida de peso corresponderá a la sustancia volátil, que se especifica, por lo general, como libre de contenido de humedad, o sea, sustancia volátil - humedad.

$$\%volátiles = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} \cdot 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

m_s: masa seca, g.

m_{nv}: masa de no volátiles, que es lo que queda en el crisol al realizar la prueba de volátiles, g.

Contenido de carbono fijo y de cenizas: Las cenizas se determinan calentando una muestra hasta que adquieran color el color rojo, en presencia de aire, para quemar completamente toda la sustancia combustible, quedando un residuo denominado ceniza. El contenido de carbono fijo se estima normalmente por una "diferencia", o sea, todos los otros componentes se restan de cien (como porcentajes) y se supone que lo que queda es el porcentaje de carbono "puro" o "fijo".

$$\%cenizas = \frac{m_{cen}}{m_s} \cdot 100 \quad \text{..... (4)}$$

$$\%c.fijo = \frac{m_{nv} - m_{cen}}{m_s} \cdot 100 \quad \text{..... (5)}$$

m_{cen} : masa de cenizas, g m_s : masa seca, g

m_{nv} : masa de no volátiles, que es lo que queda en el crisol al realizar la prueba de volátiles, g

Análisis estadístico para determinar la dependencia de las propiedades químicas del bagazo con los diámetros de partículas obtenidos

Se desea comprobar si las determinaciones realizadas de cada uno de los parámetros que caracterizan el bagazo de caña poseen un comportamiento regular. Los análisis estadísticos se realizarán aplicando el programa STATGRAPHICS Centurion XV para cada una de estas propiedades. Se realizará un diseño de experimentos 31, con un factor experimental, 4 variables de respuesta, dando lugar a 12 experimentos; de acuerdo a lo siguiente:

Factores	*Niveles*	*Respuestas*
Dpi (mm)	3	%Humedad
0,5	-1	%Volátiles
0,71	0	%Ceniza
1	1	%Carbono Fijo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis granulométrico del bagazo de caña

Para las distintas muestras se obtuvo diferentes tamaños de partículas que oscilan entre (0,5-19,05mm) y con diámetro promedio de partícula del bagazo en general igual a 0,453mm. Al graficar para el método diferencial observamos que, independientemente de la muestra, se obtiene el mismo comportamiento de distribución granulométrica (figura 2) es por ello que al concluir este estudio se determinaron las restantes propiedades solo a una de las muestras analizadas.

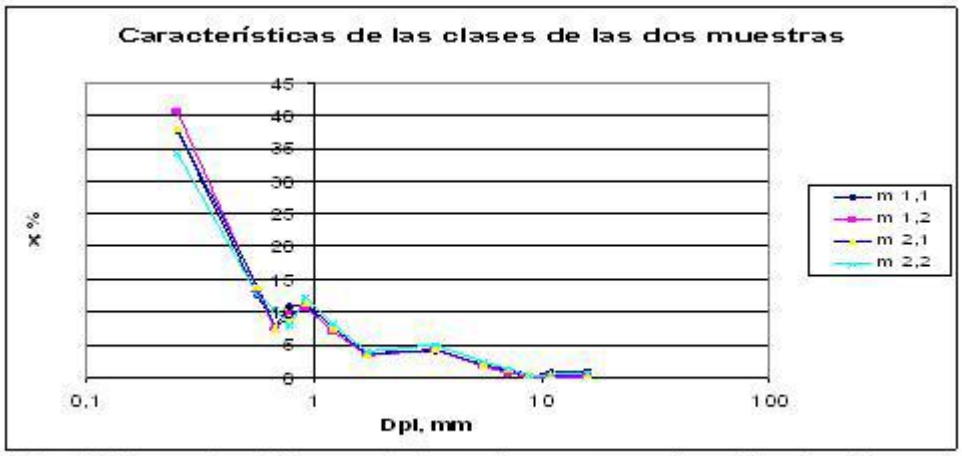

Fig. 2 Características de las clases por el método diferencial

Tiene lugar la aparición de picos en las representaciones gráficas; a medida que los diámetros de las partículas van disminuyendo las fracciones en el cernido van aumentando. Al comparar observamos como la distribución obtenida no se corresponde con la sugerida en la literatura. Esto se debe a que la distribución granulométrica del bagazo es muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, es un material muy heterogéneo, trayendo como consecuencia que en la curva diferencial del mismo aparecen picos característicos. Para contrastar los resultados anteriores se aplicó el método acumulativo de análisis en el cernido de las diferentes muestras. Las mayores acumulaciones fueron obtenidas para partículas menores de 0,5mm y hasta 1mm de diámetro. El diámetro promedio de partícula por el método acumulativo es de 0,565 mm, mientras que el diámetro promedio de partícula para las mismas muestras a través de la ecuación de distribución diferencial es de 0,444 mm y 0,463 mm respectivamente. Independientemente de que se utilizaron métodos diferentes para la determinación del diámetro promedio, los resultados obtenidos son muy cercanos dado al gran número de clases de tamaño que se consideraron.

Determinación del contenido de humedad, sustancias volátiles, carbono fijo y cenizas del bagazo de caña

En el caso de la humedad (figura 3) los valores oscilan entre 10,26 % y 16,32 %, sin una tendencia definida. Se puede observar una tendencia a la disminución del contenido de volátiles con la disminución del diámetro de las partículas (figura 4). De forma opuesta el contenido de cenizas se incrementó con la disminución del diámetro (figura 5). Por último para el caso del contenido de carbono fijo se obtuvieron valores entre 12,25-16,56 %, para este parámetro tampoco se obtiene un comportamiento definido (figura 6).

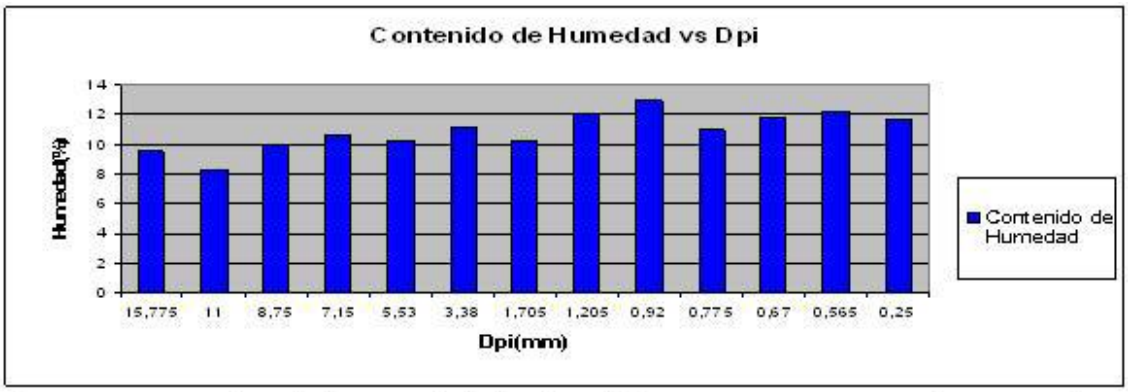

Fig. 3 Contenido de humedad de los diferentes tamaños de partículas

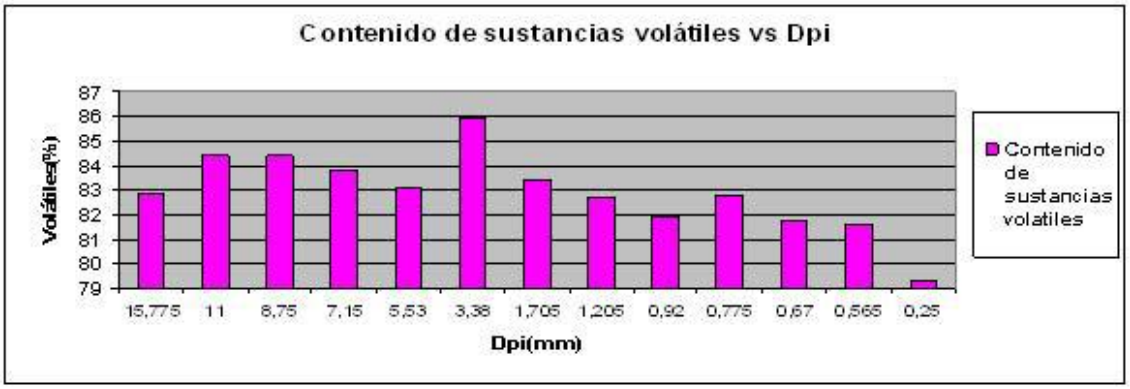

Fig. 4 Contenido de volátiles de los diferentes tamaños de partículas

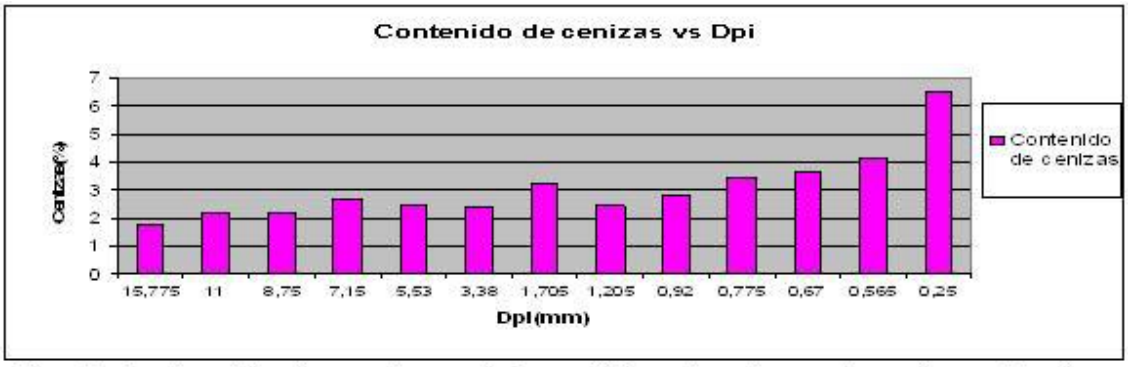

Fig. 5 Contenido de cenizas de los diferentes tamaños de partículas

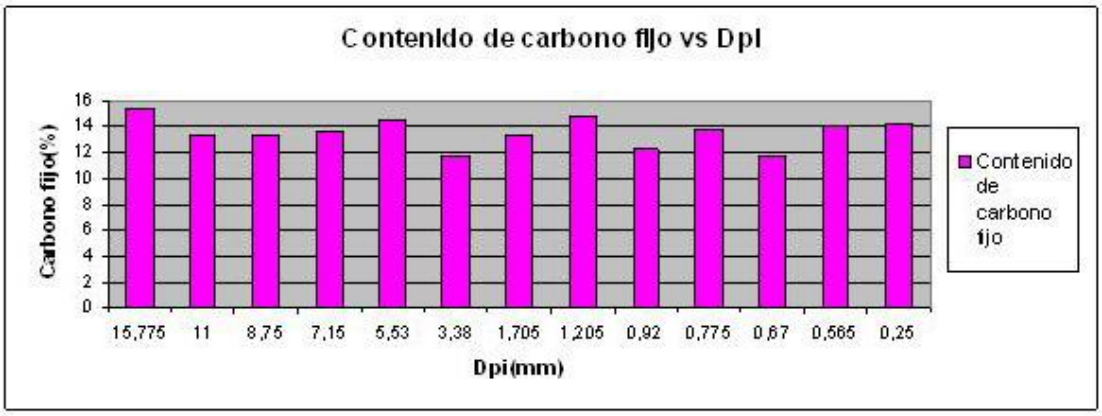

Fig. 6 Contenido de carbono fijo de los diferentes tamaños de partículas

Caracterización elemental

La caracterización elemental del bagazo de caña se realizó en los laboratorios dela Universidad Belga de Hasselt, apoyados por el Grupo de Investigación de Química Aplicada y Analítica. Obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4
Análisis elemental del bagazo de caña

Muestras	C	H	O	N	S
1	42,9500	5,5643	51,2564	0,2293	0
2	39,8883	5,1552	54,7289	0,2259	0
3	43,8004	5,7042	50,2678	0,2276	0
Promedio	42,2129	5,4746	52,0844	0,2276	0

Podemos considerar estos resultados fiables pues en el caso de la biomasa que se analiza esta contiene pocos carbonatos, por lo que el carbono contenido es básicamente carbono orgánico. Al comparar estos resultados con los obtenidos para otras biomasas podemos observar que concuerdan en que los mayores porcientos están sobre la base al contenido de carbono y oxígeno. [1, 2, 3]

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para este estudio los niveles de diámetro escogidos se corresponden a la zona de diámetros menores que es donde se encuentran las mayores acumulaciones de la biomasa a partir del análisis granulométrico. Se realizaron las pruebas F, las pruebas de múltiples rangos y las medias. Como resultado se obtuvo que en todos los casos, excepto para el carbono fijo, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la característica analizada entre un nivel de Dpi y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Obteniéndose en cada caso las siguientes correlaciones matemáticas:

Humedad = 10,6334 + 1,18879*DpiVolátiles = 76,1999 + 7,62004*Dpi
Ceniza = 10,1964 - 8,32655*DpiCarbono Fijo = 13,6037 + 0,706504*Dpi

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo permitieron evaluar las propiedades físicas y químicas de diferentes clases de tamaño de muestras de bagazo de caña, como parte del estudio de descomposición térmica de las mismas. Se realizó el análisis granulométrico del bagazo de caña, obteniéndose una distribución muy variada, desde un fino polvo hasta partículas irregulares de gran tamaño, trayendo como consecuencia que en la curva diferencial del mismo aparecen picos característicos. Además, las mayores acumulaciones fueron obtenidas para partículas menores de 0,5 mm y hasta 1mm de diámetro. Para estas acumulaciones se determinaron las propiedades químicas de biomasa vegetal: volátiles (aumenta con el incremento del diámetro de las partículas), cenizas (disminuye con el incremento del diámetro de las partículas), humedad y carbono fijo (no existe una tendencia definida en estos parámetros con la variación del diámetro de partículas). Se determinó que el diámetro de partículas influye en la variación de todas las propiedades, excepto para el carbono fijo.

NOMENCLATURA

x_i: Cernido de la clase i
D_p: Diámetro promedio de partículas mm
D_{pi}: Diámetro medio de la fracción xi i mm
D_{pai}: Abertura del tamiz mm
Δx_i: Fracción en peso
m_h: Masa de sólido húmedo g
m_s: Masa de sólido seco g
m_{nv}: masa de no volátiles g
m_{cen}: masa de cenizas g
P^i: Peso de la muestra de cada tamiz g
yi Retenido de la clase i
Tid Temperatura Inicial de descomposición °C
Tmv Temperatura a la máxima velocidad °C
Tpi Temperatura en el punto de involución °C
Vpm Velocidad de pérdida de masa % / K

BIBLIOGRAFÍA

1. ASADULLAH, M. et al. "Production of bio-oil from fixed bed pyrolysis of bagasse" Fuel, 2007, Vol 86, pp. 2514-2520

2. BRIDGEMAN, T.G. et al. "Influence of particle size on the analytical and chemical properties of two energy crops" Fuel, 2007, Vol. 86, pp. 60-72

3. CATHARINA, ERLICH. et al. "Thermochemical characteristics of sugar cane bagasse pellets" Fuel, 2005, Vol. 84, pp. 569-575

4. DEL TORO, YADIER. Obtención y caracterización de líquidos y carbón obtenidos por la pirolisis del aserrín de Acacia, Santiago de Cuba. Cuba, 2012.

5. DELLA ROCCA, P.A. et al. "Pyrolysis of hardwoods residues: on kinetics and chars characterization", Biomass and Bioenergy, 1999, Vol.16, 79-88

6. DEMIRBAS, AYHAN. "Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues" Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2004, Vol.72, 243-248

7. DINESH, Mohan. et al. "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review", Energy & Fuels, 2006, Vol.20, pp. 848-889.

8. MANI, SUDHAGAR.et al. "Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses" Biomass and Bioenergy, 2006, Vol.30, pp. 648-654

9. ROSABAL-VEGA, JULIO; GARCELL-PUYÁNS, LEONEL. Hidrodinámica y separaciones mecánicas, Tomo I, 2da ed., La Habana: ed. Félix Varela, 2006, 295 p. ISBN: 959-258-982-8.

Recibido: Noviembre 2014
Aprobado: Febrero 2015

MSc. Enma M. Manals-Cutiño. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.