

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y ENERGÉTICA DE BAGAZOS DE CAÑA DE AZÚCAR DE TUCUMÁN, ARGENTINA

Gimena del Huerto Zamora Rueda, EEAOC, gzamora@eeaoc.org.ar

Marina Gabriela Mistretta, EEAOC, mgmistretta@eeaoc.org.ar

Cynthia Elizabeth Gutiérrez, EEAOC, cgutierrez@eeaoc.org.ar

Marcos Antonio Golato, EEAOC, mgolato@eeaoc.org.ar

Dora Paz, EEAOC, ingenieria@eeaoc.org.ar

Gerónimo Julio Cárdenas, EEAOC, gjcardenas@eeaoc.org.ar

Resumen— Uno de los residuos más importantes de la industria sucro- alcoholera de Tucumán es el bagazo de caña de azúcar, que se utiliza como el principal combustible para la generación de energía térmica y eléctrica en los procesos de fabricación de azúcar y alcohol. El bagazo es un material lignocelulósico, que también es empleado en la fabricación de papel por su elevado contenido de fibra. El uso como combustible en calderas de vapor requiere una constante caracterización físico-química y energética, debido principalmente a la variabilidad de las condiciones climáticas que afectan al suelo y al cultivo, como así también a la variedad de la caña y a su sistema de cosecha. Para su caracterización se analizaron 20 muestras de bagazo recolectadas durante la zafra 2017, provenientes de ingenios azucareros tucumanos. Para el análisis de las mismas se siguieron las metodologías propuestas por las normas ASTM D 5142-02 (termogravimétricas), ASTM D 2015-96 (poder calorífico superior), ASTM E 776-87 y ASTM D 3177-02 (cloro y azufre, respectivamente). Los resultados promedio obtenidos fueron: humedad (W) 52,39%, cenizas (CZ) 6,55% en base seca (bs); sólidos volátiles (SV) 76,52% (bs); carbono fijo (CF) 16,74% (bs); poder calorífico superior (PCS) 17.465 kJ/kg (bs); cloro (Cl) 0,14% (bs) y azufre (S) 0,16% (bs). Estos parámetros son útiles para el cálculo y rediseño de sistemas de generación de vapor.

Palabras clave— *biocombustible, bagazo, energía*

1. Introducción

El bagazo es el residuo producido durante la molienda de la caña de azúcar para la obtención del jugo de caña, es una biomasa lignocelulósica constituida por: fibra, sólidos insolubles, sólidos solubles y agua.

La conversión de la biomasa sólida en energía, puede realizarse mediante procesos termoquímicos como la gasificación, pirólisis y combustión indicado por Nogues [1], que van a permitir un aprovechamiento energético del residuo. El bagazo se ha convertido en una importante fuente de energía para la producción de energía térmica y eléctrica (cogeneración). De Boeck [2]

Para determinar el perfil de un combustible es importante conocer las propiedades físicas, químicas y térmicas. A continuación se describen en mayor detalle estas propiedades:

Parámetros físicos	Humedad	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pretratamiento.
Parámetros químicos	Análisis elemental Análisis inmediato Fusibilidad de cenizas	Determinan el comportamiento de la biomasa durante los procesos de transformación químicas y termoquímica.
Parámetros energéticos	Poder calorífico	Determina la cantidad de energía aprovechable.

Fuente: Nogues [1]

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados de las nuevas caracterizaciones físico- químico y energético del bagazo, para las actuales variedades de caña de azúcar de Tucuman, realizadas con un moderno equipamiento de análisis.

2. Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI), de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Para ello, se recolectaron 20 muestras de bagazo, de variedad LCP85-384, de los diferentes ingenios tucumanos, correspondiente a la zafra 2017. Los análisis realizados fueron:

- Contenido de humedad (%W), por medio de secado en estufa a 105°C hasta peso constante.
- Determinaciones termogravimétricas de los contenidos de: cenizas (%CZ), sólidos volátiles (%SV) y carbono fijo (%CF). Para ello se utilizó un analizador termogravimétrico automatizado, marca LECO, modelo TGA 701, según norma ASTM D 5142-02 modificada.
- Contenido de azufre (%S), por medio de bomba calorimétrica, según ASTM D3177-02.
- Contenido de cloro (%Cl), por medio de bomba calorimétrica, según norma ASTM E 776-87 modificada.
- PCS, por medio de bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000, según ASTM D240, ASTM D2015-96 y ASTM E711.

3. Resultados y Discusión

En Tabla 1 se presentan los resultados termogravimétricos obtenidos para las muestras de bagazo analizadas. Estos valores se encuentran referidos en base seca (b.s.) y expresados [%], con sus respectivos coeficientes de variación porcentual (%C.V.) . Los

Caracterización fisicoquímica y energética de bagazos de caña de azúcar de Tucumán, Argentina

valores medios obtenidos fueron: humedad 52,39% con un CV de 4,54%, cenizas 6,55% con un valor de CV de 2,89%; sólidos volátiles 76,52% con un valor de CV de 2,38% y carbono fijo 16,74% con un valor de CV de 3,59%. Estos resultados se encuentran en igual orden de magnitud que los informados por Silva Lora [3]; Cruz [4]; y Bizzo [5].

Tabla 1: Resultados de las determinaciones termogravimétricas de bagazo de caña de azúcar de Tucumán

Bagazo	W[%]	CZ[%]b.s.	SV[%]b.s.	CF[%]b.s.
Valor medio	52,39	6,55	76,52	16,74
Mínimo	49,02	3,78	73,1	15,68
Máximo	55,79	9,79	78,57	17,87
%C.V.	4,54	2,89	2,38	3,59

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 muestra los resultados promedio de CI total y S total, estos valores se hallan expresados en base seca; además se muestra el valor del PCS, con sus respectivos C.V. %. Estos valores se encuentran en igual orden de magnitud que los informados por Silva Lora [3], Bizzo[5] y Cruz [4]

Tabla 2: Resultados de CI, S y PCS de muestras de bagazo de Tucumán

Bagazo	CI[%]b.s.	S[%]b.s.	PCS [kJ/kg] b.s.
Valor medio	0,14	0,16	17.465
Mínimo	0,05	0,04	16.382
Máximo	0,29	0,65	18.154
%C.V.	4,28	9,20	3,08

Fuente: Elaboración propia

En Tabla 3 se muestran los valores de PCS promedio determinado para este trabajo y una comparación de los resultados de ensayos realizados por otros autores. Se puede observar que los valores de bagazo se encuentran en igual orden de magnitud que Castgnaro [6] , Cruz [4], Silva Lora [3], Garces Paz [7] , Wilson [8] , Diaz [9], Bizzo [5] y Resende [10].

Tabla 3: Valores de PCS de bagazo de caña de azúcar encontrados para diferentes autores.

PCS[kJ/kg]b.s.	Referencias
17.465	Este artículo
17.947	Castagnaro [6]
17.562	Cruz [4]
16.810	Silva Lora[3]
16.203	Garces Paz [7]
17.330	Wilson[8]
17.221	Diaz[9]

17.772	Bizzo[5]
16.900	Resende[10]

Fuente: Elaboración propia

Para completar el análisis de perfil del combustible de bagazo, mencionamos los valores de composición elemental de bagazo de nuestra provincia realizado en la Laboratorio NEST en Brasil, estos valores se encuentran expresados en base seca y en %, los mismos fueron informados por Cruz [4]. Por último, los valores de fusibilidad de cenizas de bagazo que fueron realizados en el LEMI en 2013 observados por Peralta [11]. Los presentamos a continuación en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Composición elemental de bagazo de caña de azúcar

Muestra	C [%] b.s.	H [%] b.s.	N[%] b.s.	O[%] b.s.
Bagazo	43,89	5,31	0,48	49,42

Fuente: Cruz [4]

Tabla 5: Valores de fusibilidad de ceniza de bagazo de caña de azúcar

Bagazo	Atmósfera reductora				Atmósfera oxidante			
	DT (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)	DT (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)
Valor medio	1054,4	1263,0	1374,4	>1455,0	1058,0	1195,6	1322,0	>1455,0

Fuente: Peralta [11]

DT: temperatura de inicio de deformación

ST: temperatura de ablandamiento

HT: temperatura de hemiesfera

FT: temperatura de fluidización

4. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados promedio obtenidos de los análisis físico-químico y energético, para las muestras de bagazo de caña de azúcar de la variedad LCP-384, fueron: W = 52,39% con C.V.=4,54%; CZ = 6,55% con C.V.= 2,89%; SV = 76,52% con C.V.= 2,39%; CF = 16,74% con C.V.=3,59%; Cl = 0,14% con C.V.=4,28%; S = 0,16% con C.V.=9,20% y PCS = 17.465[kJ/kg] con C.V.=3,08%. Estos valores se encuentran en igual orden de magnitud que los encontrados en bibliografía para esta biomasa. Estos resultados sirven de referencia para nuevos estudios de aprovechamiento de este residuo como combustible de caldera.

5. Referencias

[1] Nogués, F.S; D. García Galindo y A. Rezeau. (2010). Energías Renovables. Energía de la Biomasa. Volumen 1. Prensa Universitaria de Zaragoza.

- [2] **De Boeck, G.; L. P. Garolera De Nucci; F. J. Franck Colombres; D. Paz y M. Octaviano. (2011).** Simulación de sistemas de cogeneración en la industria azucarera de Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán , v 11, tomo 88, pp: 29-36.
- [3] **Silva Lora, E.E. y Venturini O.J. (2012).** Biomibustivels. Editorial Interciencia. Volumen 1. Rio de Janeiro.
- [4] **Cruz, M.C.; G. Zamora Rueda; M. A. Golato y D. Paz. (2016).** Caracterización de biomásas regionales: experiencias en interlaboratorio de Tucumán (Argentina) e Itajubá (Brasil). Revista Avance, n°37, v.4, pp. 34-39.
- [5] **Bizzo, W. A.; P. C. Lenço; D. J. Carvalho and J. P. Soto Veiga. (2013).** The generation of residual biomass during the production of bioethanol from sugarcane, its characterization and its use in energy production. Renewable and Sustainable Energy Reviews n° 29, pp: 589–603.
- [6] **Castagnaro A.; M.A. Golato; D. Paz y E. A. Feijóo (2011).** Caracterización energética de biomásas residuales de origen agroindustrial de Tucumán. Avance Agroindustrial v.2, n°32, pp. 33-37.
- [7] **Garces Paz, V.; S. V. Martínez Silva. (2015).** Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda. Tesis final de grado. Colombia.
- [8] **Wilson, L.; W. Yang; W. Blasiak; G. R. John; C. F. Mhilu. (2011).** Thermal characterization of tropical biomass feedstocks. Energy Conversion and Management n°52, pp:191–198.
- [9] **R. Díaz. (2008).** Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Ecuador. Facultad de Mecánica Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba, Ecuador.
- [10] **Resende, F.L.P. (2003).** Comparação em treas técnicas de análise termogravimétrica e leito fluidizado para pirólise de biomassa .Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp;- Brasil.
- [11] **Peralta, F.L.; G. Zamora Rueda; G. Mistretta; H. Zalazar; M.V. Bravo; E. A. Feijóo; M.A. Golato; D. Paz y G.J. Cárdenas (2014).** Determinación del punto de fusión de cenizas de bagazo y RAC de Tucumán. XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente. VI Latin America Regional Conference. ASADES. Libro de resúmenes pp.65.