



■ Agroindustria

Experiencias entre laboratorios Caracterización de biomásas regionales. Argentina (Tucumán) y Brasil (Itajubá)

Marta C. Cruz*, Gimena del H. Zamora Rueda*, Marcos A. Golato** y Dora Paz**.

*Ing. Qco, **Ing. Mec., ***Dra. Ing. Qco.-Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales; mccruz@eeaoc.org.ar, gzamora@eeaoc.org.ar.

■ Introducción

Durante los años 2015 y 2016 se desarrolló en Tucumán el Proyecto del Fondo Fiduciario Perez-Guerrero (FFPG) para la Cooperación Técnica y Económica entre países en desarrollo denominado: “Gasificación de biomasa residual para la cosecha de caña para producir energía eléctrica”. Este proyecto de nivel internacional fue ejecutado por la Estación

Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), a través de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, junto con otros centros de investigación participantes del proyecto: el NEST (Núcleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida a través de la Universidad Federal de Itajubá - UNIFEI, Brasil), y el Instituto Cubano de Investigación de la Caña de Azúcar (ICIDCA, Cuba). El objetivo general del proyecto fue estudiar

el proceso de gasificación de biomásas residuales de la caña de azúcar, y su caracterización para la obtención de energía eléctrica por medio de una unidad demostrativa diseñada para pequeños productores cañeros. El proyecto tuvo entre sus actividades la caracterización de las biomásas más importantes de Tucumán (Argentina) e Itajubá (Brasil).

La caracterización de una biomasa resulta imprescindible

para seleccionar la aplicación tecnológica más apropiada para el aprovechamiento energético de esta, o para la producción de nuevos recursos tales como la producción de gas combustible o fracciones de hidrocarburos (Manrique *et al.*, 2008). Cada biomasa posee características diferentes (contenido de humedad, cenizas, sólidos volátiles, carbono fijo, poder calorífico superior, entre otras), por lo que en un proyecto, plan o alternativa de aprovechamiento de esta debe especificarse a qué tipo de recurso se refiere (Manrique *et al.*, 2010). El contenido de humedad de una biomasa (W [%]), define la capacidad energética de la misma durante el proceso de su combustión. El contenido de ceniza (CZ [%]), representa la cantidad de material inerte que acompaña la materia orgánica y que provoca la disminución de energía contenida en la materia. Con respecto al contenido de sólidos volátiles (SV [%]), representa la fracción de materia orgánica que se volatiliza inicialmente por efecto de la temperatura; y finalmente, el contenido de carbono fijo (CF [%]), representa la fracción restante de carbono libre asociada a dicha materia orgánica. Otra característica importante que define a un combustible es el poder calorífico superior (PCS [KJ/Kg]) que presenta la cantidad de energía que se puede obtener por cada kilogramo de combustible seco.

Durante el año 2016 se realizaron experiencias entre el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI-EEAOC) y el (NEST-UNIFEI), con el objetivo de intercambiar técnicas y resultados de análisis físico-químicos y energéticos, en ambos laboratorios.

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la experiencia realizada en los laboratorios para la caracterización de biomásas estudiadas para cada región, con el uso de equipos y técnicas particulares utilizadas.



Figura 1. Muestras de la región de Itajubá: a) maíz, b) miscantus, c) eucalipto y d) cascarilla de arroz.



Biomásas analizadas

En la Figura 1 se observan las cuatro muestras provenientes de la región de Itajubá: a) maíz, b) miscanthus, c) eucalipto y d) cascarilla de arroz. En la Figura 2 se pueden ver las muestras características de Tucumán: e) bagazo, f) residuo agrícola de cosecha (RAC) y g) sorgo fibroso. Los análisis se realizaron en los laboratorios del LEMI y NEST y se partieron de muestras secas y molidas.



Figura 2. Muestras de la región de Tucumán: e) bagazo, f) RAC y g) sorgo fibroso.

■ Procedimientos utilizados en el análisis de las biomásas

a. Ensayos realizados en el LEMI-EEAOC:

• **Determinación del contenido de W:** se procedió a secar las muestras de biomasa en una estufa marca ORL con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante, siguiendo la norma ASTM D 5142-02 modificada. Cabe destacar que originalmente fue concebida para coque y carbón, y se modificó para cada biomasa. Posteriormente se realizó la trituration en un molino de cuchilla tipo fresa, marca Fritcher, modelo Pulverisette 19, hasta alcanzar una granulometría adecuada (menor a 1 mm).

• **Análisis inmediato:** se logró determinar los contenidos de CZ, SV,

y CF. Se utilizó un equipo analizador termogravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA 701 (Figura 3), parametrizado con una curva de calibración ajustada para cada biomasa. Estas curvas se lograron a partir de ensayos realizados en mufla en comparación con los resultados obtenidos en el TGA (Mistretta *et al.*, 2014) y se denominaron “RAC- modificado”, “Bagazo-1” y “Trigo- Salvado”. Este equipo realizó inicialmente el secado de las muestras y volatilización de estas hasta 900°C, durante cinco minutos en una atmósfera controlada de nitrógeno y determinó por gravimetría el contenido de SV. Luego procedió a la calcinación de las muestras a una temperatura de 750°C hasta peso constante en presencia de oxígeno, determinando por gravimetría el CZ. Por último, determinó por diferencia de peso el contenido de CF. La

metodología utilizada por el equipo siguió el procedimiento indicado en la norma ASTM D 5142-02 modificada.

• **Determinación del PCS:** se utilizó una bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000 (Figura 4), parametrizada en operación adiabática. Previamente se preparó una pastilla con la muestra de biomasa seca y acondicionada, siguiendo la metodología ASTM D 2015-96.

b. Ensayos realizados en el NEST-UNIFEI:

Las muestras ensayadas en la región de Brasil, se encontraban inicialmente secas, con una granulometría menor a 1 mm.

• **Análisis inmediato:** se utilizó un equipo analizador termogravimétrico,



Figura 3. Equipo TGA instalado en el LEMI-EEAOC.



Figura 4. Bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000, instalada en LEMI-EEAOC.



Figura 5. Equipo TGA, instalado en NEST-UNIFEI.



Figura 6. Bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C2000, instalada en NEST-UNIFEI.

marca LECO, modelo TGA 701 (Figura 5). La metodología utilizada sigue el procedimiento descrito en la norma ASTM D 5142-02.

- **Determinación del PCS:** se utilizó una bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C2000 (Figura 6), en operación dinámica a 25°C, tiempo de ensayo 7 minutos. Previamente se preparó una pastilla con la muestra seca y triturada de cada biomasa. La metodología empleada fue ASTM D 2015-77.

- **Análisis elemental:** se utilizó el analizador elemental, marca Perkin Elmer, modelo EA 2400, serie II (Figura 7), el cual somete las muestras a combustión en un ambiente de oxígeno puro. En este se determinó el contenido en porcentaje de masa de carbono (C), hidrógeno (H), azufre (S), nitrógeno (N) y por cálculo determina el oxígeno (O). Este procedimiento se llevo a cabo en base al protocolo descrito en el manual del usuario de Perkin Elmer.

Resultados del interlaboratorio

En Tabla 1 se presentan los resultados de los parámetros termogravimétricos (CZ, SV y CF) para biomásas de Tucumán analizadas en ambos laboratorios, expresados en por ciento en base seca (b.s). Se puede observar que estos resultados se encuentran en igual orden de magnitud, según lo informado por Zamora *et al.* (2016), para biomásas de esta región con similares características.

La Tabla 2 muestra los resultados del TGA para biomásas de Itajubá, ensayadas en ambos laboratorios. El contenido de cenizas de bagazo resulta bajo en comparación con valores de la industria, en el orden de 6,12% según lo informado por Feijóo *et al.* (2015). Las demás biomásas se encuentran en igual orden de magnitud que los informados por Barbosa Cortez *et al.* (2014) y Silva Lora *et al.* (2012) para biomásas de similares características de esta región.



Figura 7. Equipo analizador elemental de combustible, instalado en el NEST-UNIFEI.

La Tabla 3 muestra los valores obtenidos en el LEMI en relación a los encontrados en bibliografía para iguales biomásas. Las diferencias observadas del contenido de cenizas en las muestras de eucalipto, cascarilla de arroz y bagazo con respecto a Barbosa Cortez *et al.* (2014), Silva Lora *et al.* (2012) y Bizzo *et al.* (2014) son atribuibles a los distintos tipos de cosecha, suelos, etc. Las muestras de maíz y RAC presentan valores similares a los informados por Barbosa Cortez *et al.* (2014) y Zamora *et al.* (2016).

En Tabla 4 se observan los resultados del PCS para biomásas ensayadas de Tucumán y analizadas en ambos laboratorios. Los valores obtenidos en el LEMI poseen igual orden de magnitud que los informados por Castagnaro *et al.* (2011) y Zamora *et al.* (2016). Asimismo los correspondientes valores de PCS analizados en el NEST presentan valores promedios con errores porcentuales de 11,2% para bagazo, 9,6% para RAC y 11,9% para sorgo fibroso respecto a los obtenidos en el LEMI. Estas

Tabla 1. Resultados del TGA para muestras de bagazo, RAC y sorgo fibroso de Tucumán-Argentina.

Muestra Parámetros	Bagazo		RAC		Sorgo fibroso	
	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST
CZ [%] b.s.	2,49	2,65	12,51	13,19	8,86	8,67
SV [%] b.s.	79,56	79,14	70,81	69,68	72,75	71,85
CF [%] b.s.	17,95	18,21	16,69	17,13	18,39	19,48

Tabla 2. Resultados del TGA para muestras de eucalipto, miscanthus, cascarilla de arroz y maíz de Itajubá-Brasil.

Muestra Parámetros	Eucalipto		Miscanthus		Cascarilla de Arroz		Maíz	
	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST
CZ [%] b.s.	1,40	1,73	4,99	5,21	15,00	16,89	1,64	1,89
SV [%] b.s.	70,14	77,96	76,14	75,92	58,96	65,21	81,87	82,02
CF [%] b.s.	18,07	18,87	18,67	18,87	16,08	17,90	16,49	16,09

Tabla 3. Tabla comparativa para muestras de eucalipto, cascarilla de arroz, maíz, bagazo y RAC.

Muestra	Eucalipto		Cascarilla de Arroz		Maíz		Bagazo		RAC	
	LEMI	Barbosa Cortez <i>et al.</i> , 2014	LEMI	Silva Lora <i>et al.</i> , 2012	LEMI	Barbosa Cortez <i>et al.</i> , 2014	LEMI	Bizzo <i>et al.</i> , 2012	LEMI	Zamora <i>et al.</i> , 2012
CZ [%] b.s.	1,40	0,79	15,00	21,24	1,64	1,36	2,49	5,13	12,51	14,04
SV [%] b.s.	70,14	81,42	58,96	61,81	81,87	80,10	79,56	80,81	70,81	69,20
CF [%] b.s.	18,07	17,79	16,08	16,95	16,49	18,64	17,95	19,18	16,69	16,75

diferencias podrían deberse a los diferentes parámetros ajustados en los equipos utilizados.

En Tabla 5 se informan los resultados de PCS de biomásas de Itajubá donde puede observarse que la cascarilla de arroz presenta un bajo PCS en relación a las demás biomásas. Esto podría deberse a los elevados contenidos de ceniza observados en este material, que influyen de manera negativa en este parámetro (Diez *et al.*, 2010).

Los valores promedio obtenidos de PCS presentan un error porcentual de 13,9% para eucalipto, 1,8% para miscanthus, 21,3% para cascarilla de arroz y 17,4% para maíz respecto a los valores obtenidos en el NEST.

La Tabla 6 presenta los resultados de promedios del análisis de composición elemental de las muestras analizadas en el NEST. Estos valores se encuentran en igual orden de magnitud que los informados por Barbosa Cortez *et al.* (2014). Asimismo se observa que el eucalipto es el que presenta el mayor valor de porcentaje de carbono, y el sorgo fibroso, el que arroja los mayores valores de porcentajes de nitrógeno y oxígeno.

■ Consideraciones finales

Se lograron realizar las experiencias de caracterización energética de diferentes biomásas típicas de las regiones de Tucumán-Argentina e Itajubá-Brasil. Se aprovechó la oportunidad de realizar ensayos en equipos de última generación y

comparar los resultados obtenidos. Estos resultados representan parámetros fundamentales para el cálculo de balances de masa y energía.

La EEAOC tiene previsto incorporar próximamente un equipo analizador de composición elemental con similares características al que se encuentra disponible en el NEST.

La experiencia lograda en ambos laboratorios en el marco del Proyecto del Fondo Fiduciario Perez-

Guerrero (FFPG) permitió afianzar el conocimiento de las técnicas ensayadas para la caracterización de biomásas y el manejo de equipos de avanzada tecnología.

■ Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Dr. Electo Silva Lora y el Ing. Mecánico Diego Yepes Maya del NEST, quienes nos guiaron en la realización de esta experiencia en el NEST-INIFEI.

Tabla 4. Resultados de PCS para las muestras ensayadas de Tucumán y analizadas en ambos laboratorios.

Muestra	Bagazo		RAC		Sorgo fibroso	
	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST
PCS [kJ/kg] b.s.	17,552	15,586	16,419	14,839	16,847	14,839

Tabla 5. Resultados de PCS de las muestras ensayadas de Itajubá analizadas en ambos laboratorios.

Muestra	Eucalipto		Miscanthus		Cascarilla de Arroz		Maíz	
	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST	LEMI	NEST
PCS [kJ/kg] b.s.	17,793	15,609	16,556	16,257	14,654	12,082	16,121	15,845

Tabla 6. Resultados del análisis de composición elemental de biomásas estudiadas en el NEST en % en base seca.

Muestra	C	H	N	S	O
Sorgo fibroso	39,49	5,20	1,34	0,18	53,78
RAC	43,96	5,41	0,10	0,07	50,46
Bagazo	43,89	5,31	0,48	0,90	49,42
Cascarilla de arroz	44,22	5,06	0,50	0,57	49,65
Eucalipto	47,33	5,76	0,06	0,00	46,85

Bibliografía citada

Barbosa Cortez, L. A.; E. E. Silva Lora y E. Olivares Gómez. 2014. Biomasa para la energía. Editorial Unicamp. 3 impresión. Brasil.

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 29: 589–603.

Castagnaro, A.; Golato M.A., Paz D. y E. A. Feijóo. 2011. Caracterización energética de biomasa residual de origen agroindustrial de Tucumán. Revista Avance Agroind. 32 (2): 32-37.

Diez, O. A.; G. J. Cárdenas y L. F. Mentz. 2010. Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. Rev. Ind. y

Agríc. de Tucumán 87 (1): 29-38.

Feijóo, E.; M. A. Golato; D. Paz D. y G. J. Cárdenas. 2015. Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de caña de azúcar de Tucumán. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán. 92 (2): 23-32.

Manrique, S.; J. Franco; V. Nuñez y L. Seghezo. 2008. Potencial energético de biomasa residual de tabaco y ají en el municipio de Coronel Moldes (Salta – Argentina). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12.

Manrique, S.; J. Franco; V. Nuñez y L. Seghezo. 2010. Bioenergía en el valle de Lerma: Evaluación de sustentabilidad de alternativas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 14.

Mistretta, M. G.; G. Zamora Rueda; F. Peralta; C. Gutiérrez; H. Zalazar; M. V. Bravo; E. A. Feijóo; M. A. Golato; D. Paz, y G. J. Cárdenas.

2014. Metodologías termogravimétricas para la determinación del contenido de cenizas en bagazo y en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán. XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente. VI Latin America Regional Conference. ASADES. En: Libro de Resúmenes Energías Renovables: El Desafío. Tema 8, pp. 69-70.

Silva Lora, E. E. e O. J. Venturini. 2012. Biomibustivels. Editorial Interciencia. Volumen 1. Rio de Janeiro.

Zamora Rueda, G. Del H.; M. Mistretta, F. Peralta, C. Gutiérrez, E. Feijóo, M. Golato; D. Paz y G. J. Cárdenas. 2016. Caracterización energética del residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán. [CD Rom]. En: Actas de la Reunión Técnica Nacional de la Caña de Azúcar (SATCA), 20, Tucumán, R. Argentina.]

Firestone

FIREAGRO
Firestone

**PETROARSA LE BRINDA
MAYOR PRODUCTIVIDAD
A TU CAMPO**

Un nuevo concepto de soluciones donde y cuando lo necesites.

Acercate a Petroarsa y encontrará la más alta calidad de los productos y servicios Agrícolas Firestone.

-Más ahorro | -Mayor tracción | -Mejor confort de marcha

Firestone 80 AÑOS
Produciendo para nuestro Campo

petroarsa.com.ar

Petroarsa
Proveedores de crecimiento

Casa Central Ruta 302 km 6,5 Cevil pozo, Tucumán	Suc. Concepción Ruta 38 km 736,5 Concepción, Tucumán	Suc. Centro Catamarca 135, S. M. de Tucumán	Suc. Yerba Buena Av. Solano Vera 1001, Yerba Buena, Tucumán	Nueva Sucursal Ruta 9 km 1286, Lastenia, Tucumán
---	---	--	--	---

