

Caracterización energética de biomásas residuales de origen agroindustrial de Tucumán

Ana Castagnaro*, Marcos A. Golato**, Dora Paz*** y Enrique A. Feijoo****

Introducción

Dentro de las formas conocidas de energías renovables eólica, hidráulica, solar térmica, solar fotovoltaica y geotérmica, se encuentran las biomásas de origen residual. Este último gran grupo abarca los subproductos derivados de las actividades agroindustriales, ganaderas y principalmente las forestales.

Los residuos agroindustriales comprenden las partes de los cultivos alimentarios o industriales que no son consumibles o comercializables. Constituyen una serie heterogénea de productos, con el denominador común de presentar una alta dificultad de eliminación. La heterogeneidad de estas biomásas es una característica intrínseca de ellas, que exige su clasificación y caracterización para poder evaluar su potencial utilización o aprovechamiento.

El aprovechamiento energético de la biomasa surge como solución frente a dos factores. El primero de ellos es la conocida disminución de las reservas de recursos fósiles (no renovables) y los problemas de contaminación derivados de su uso y explotación. El segundo factor es la creciente generación de residuos de naturaleza esencialmente orgánica que exigen gestión y tratamiento (Aso *et al.*, 2008).

Las distintas formas en que puede aprovecharse la biomasa dependen directamente de los parámetros que la caracterizan, así como también de los tratamientos a los que puede ser sometida. En líneas generales, puede decirse que la biomasa sólida debería destinarse a aplicaciones térmicas más o menos convencionales (transmisión de calor, combustión, pirolisis, gasificación, etc.) (Castells *et al.*, 2005; De Boeck *et al.*, 2009).

Una medida utilizada para evaluar el comportamiento energético de una biomasa es el poder calorífico superior (PCS). Este representa la cantidad de calor liberado por la combustión completa de 1 kg de combustible en base seca, más el calor de condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión a 0°C y 760 mm de Hg de presión, y que proviene de la humedad de la biomasa y del agua formada por la combustión del hidrógeno (Hugot, 1964; Aso *et al.*, 2008).

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados obtenidos en el Laboratorio de Ensayos de Biocombustibles de la Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC), donde se realizaron ensayos de las principales biomásas residuales de origen agroindustrial de la región, tomando los siguientes parámetros de análisis:

1. Porcentaje de humedad.
2. Contenido de cenizas.
3. Poder calorífico superior (PCS).

Las determinaciones fueron realizadas sobre muestras de las siguientes biomásas residuales: bagazo de caña húmedo; residuo agrícola de cosecha de caña (RAC), presecado a campo; afrechillo de trigo; cáscara de limón deshidratada; bagazo de sorgo presecado; polvillo de cáscara de limón y médula de bagazo.

Descripción de los ensayos

Se tomaron las siguientes muestras: 12 muestras de bagazo de caña a la salida de trapiches de ingenios de la provincia; 16 de RAC de caña presecado a campo; tres de afrechillo de trigo; 28 de bagazo de sorgo; cuatro de cáscara de limón deshidratada; una de polvillo de cáscara de limón; cinco de médula de caña de azúcar y tres muestras de mezclas RAC + bagazo.

La secuencia de tareas desarrolladas en la ejecución de los ensayos fue la siguiente:

- Se determinó el porcentaje de humedad de las muestras, secándolas hasta peso constante en una estufa de secado, marca ORL, con circulación de aire forzado y con controlador automático de temperatura, según procedimientos modificados de los Official methods of analysis of AOAC (AOAC International, 2005).
- Una vez secadas las muestras, se trituraron en un molinillo hasta un tamaño de pequeñas partículas (diámetro promedio menor a 2 mm). Estas muestras se emplearon para las determinaciones de contenido de cenizas y PCS.

* Becaria Estudiantil, ** Ing. Mec., *** Dra. Ing. Qco., **** Ing. Ind., Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC.

- El contenido de cenizas en base seca se determinó en horno mufla, marca Dalvo, de acuerdo a procedimientos modificados de los **Official methods of analysis of AOAC** (AOAC International, 2005).

- La determinación del PCS en base seca se realizó utilizando una bomba calorimétrica automática marca IKA Modelo C 5012 (Figura 1), trabajando en método adiabático, es decir, sin intercambio de energía con el exterior del equipo.

Secuencia de operación de la bomba IKA

1. La muestra (previamente secada, triturada y homogeneizada) se comprime con una prensa a tornillo manual, formando pequeñas pastillas (menos de 1 g) para evitar explosiones dentro del calorímetro (Figura 2).

2. Se carga la pastilla, previamente pesada, dentro de un crisol de acero inoxidable. El crisol se introduce en el recipiente de descomposición de la bomba.

3. Operación automática de la bomba: llenado del recipiente de descomposición con oxígeno puro (99,95%) a 30 bar, posterior encendido de la muestra y finalmente, medición del incremento de temperatura en el baño de agua de la cámara de medición.

El proceso se realiza de forma adiabática, de acuerdo con las Normas DIN51900, ISO 1928, ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468 y ASTM E711.

La cámara de medición de la bomba consta de:

- Recipiente interno con camisa de agua.
- Agitador magnético para crear una distribución uniforme de calor en el interior de la vasija interna.
- Un sistema de agua con bombeo, contenedor de expansión y conexión a una unidad externa de refrigeración.
- Calentador y controlador de temperatura.
- Dispositivo de llenado de oxígeno (O₂) y de

despresurización.

El PCS se calculó a partir de:

- El peso seco de la muestra combustible.
- La capacidad calorífica C del sistema calorimétrico (valor C determinado experimentalmente mediante calibración con sustancia patrón, en este caso ácido benzoico).
- El incremento en temperatura del agua que se encuentra en la cavidad interior de la cámara de medición.

Resultados

Los datos obtenidos en los ensayos se presentan en la Tabla 1, donde se indica el material ensayado y los valores de cenizas y PCS en base seca (b.s.) y de humedad.

Estos resultados coinciden con las investigaciones realizadas por Hugot (1964) para PCS de bagazo en diferentes países, y con los resultados finales de un estudio realizado en la EEAOC por Diez *et al.* (2010) para bagazo y médula, como se muestra en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

En la Figura 3 se muestran en un gráfico de barras los datos presentados en la Tabla 1. Puede



Figura 2. Pastilla de biomasa.



Figura 1. Bomba calorimétrica IKA, C5012.

Tabla 1. Datos de ensayos sobre muestras de biomásas de la región.

Material ensayado	Variable	n	Media	CV %	Min.	Máx.
Bagazo de caña de azúcar	Humedad [%]	12	51,44	9,58	37,63	55,96
	Cenizas [% b.s.]	12	6,12	38,24	3,21	10,73
	PCS [kJ/kg b.s.]	11	17.947,00	2,72	17.029,00	18.626,00
Médula de caña de azúcar	Humedad [%]	5	52,02	1,23	51,57	53,13
	Cenizas [% b.s.]	5	6,33	23,85	4,29	7,81
	PCS [kJ/kg b.s.]	5	18.095,00	1,97	17.774,00	18.578,00
RAC (presecado a campo)	Humedad [%]	16	7,63	35,55	3,96	12,65
	Cenizas [% b.s.]	16	10,43	17,48	7,66	13,33
	PCS [kJ/kg b.s.]	16	15.749,00	8,15	13.675,00	17.856,00
RAC+bagazo.	Humedad [%]	3	47,81	14,52	39,83	52,41
	Cenizas [% b.s.]	3	9,80	27,16	7,18	12,50
	PCS [kJ/kg b.s.]	3	17.130,00	2,36	16.675,00	17.450,00
Afrechillo de trigo	Humedad [%]	3	14,01	0,43	13,95	14,07
	Cenizas [% b.s.]	3	5,06	2,55	4,96	5,20
	PCS [kJ/kg b.s.]	3	18.982,00	0,66	18.895	19.126
Bagazo de sorgo (fibra lavada y secada en estufa)	Humedad [%]	28	2,60	57,01	0,46	5,69
	Cenizas [% b.s.]	28	3,14	12,27	2,51	3,91
	PCS [kJ/kg b.s.]	28	17.809,00	1,59	17.265,00	18.495,00
Cáscara limón (deshidratada)	Humedad [%]	4	8,03	32,95	4,45	10,37
	Cenizas [% b.s.]	1	4,99	-	-	-
	PCS [kJ/kg b.s.]	4	17.186,00	3,74	16.296,00	17.709,00
Polvo de cáscara de limón	Humedad [%]	1	6,19	-	-	-
	Cenizas [% b.s.]	1	5,97	-	-	-
	PCS [kJ/kg b.s.]	1	17.441,00	-	-	-

n= número de determinaciones.

Media= valor medio de las determinaciones.

CV%= coeficiente de variación porcentual.

Min. y Máx.= valores mínimos y máximos de cada conjunto de mediciones.

observarse que, en general y a pesar de su diversidad, el PCS de las diferentes biomásas residuales de origen lignocelulósico es aproximadamente del mismo orden de magnitud, como consecuencia de su composición química similar. Las biomásas analizadas en este trabajo presentan valores de PCS dentro del rango de 18.982 a 15.749 kJ/kg b.s., con una media de 17.542 kJ/kg b.s.

De los materiales ensayados, se observa que el mínimo valor de PCS obtenido fue el de RAC de caña (Figura 4). Esto se debe a que este material posee un alto contenido de cenizas en comparación con las restantes biomásas analizadas, lo que representa un aumento del material inerte que no aporta energía en su combustión.

Otro factor importante considerado fue el contenido de humedad promedio. Este incide en el cálculo del poder calorífico inferior (PCI), que es el calor efectivo entregado por el combustible en el horno. Se calcula sustrayendo del PCS la energía

Tabla 2. PCS del bagazo seco para diferentes países.

País	PCS del bzo. seco [kcal/kg b.s.]	PCS del bzo. seco [kJ/kg b.s.]
Australia (Queensland)	4.542,00	19.020,10
Sudáfrica	4.585,00	19.200,17
EE.UU. (Hawaii)	4.622,00	19.355,11
Cuba	4.691,00	19.644,05
Puerto Rico	4.594,00	19.237,86
Promedio	4.606,80	19.291,46

necesaria para evaporar el agua formada en la combustión y el agua contenida en el material como humedad del combustible. Así, a mayor humedad, será menor el calor generado por el combustible y consecuentemente, su consumo será mayor. Esto influye notablemente en el costo de transporte del material y, por consiguiente, en el precio final del

Tabla 3. PCS de combustibles de origen similar.

Combustible	Variable	n	Media	CV %	Min.	Máx.
Bagazo	PCS b.s. [kcal/kg]	219	16.831,77	3,30	14.788,70	18.633,06
	ceniza [%]	215	3,38	38,55	1,13	7,34
Bagazo + médula	PCS b.s. [kcal/kg]	40	16.742,05	2,02	16.179,05	17.732,44
	ceniza [%]	40	3,71	28,25	2,41	5,10
Médula	PCS b.s. [kcal/kg]	160	16.479,16	3,30	14.941,81	17.957,14
	ceniza [%]	140	5,12	40,88	2,27	9,86

n= número de determinaciones.

Media= valor medio de las determinaciones.

CV%= coeficiente de variación porcentual.

Min. y Máx.= valores mínimos y máximos de cada conjunto de mediciones.

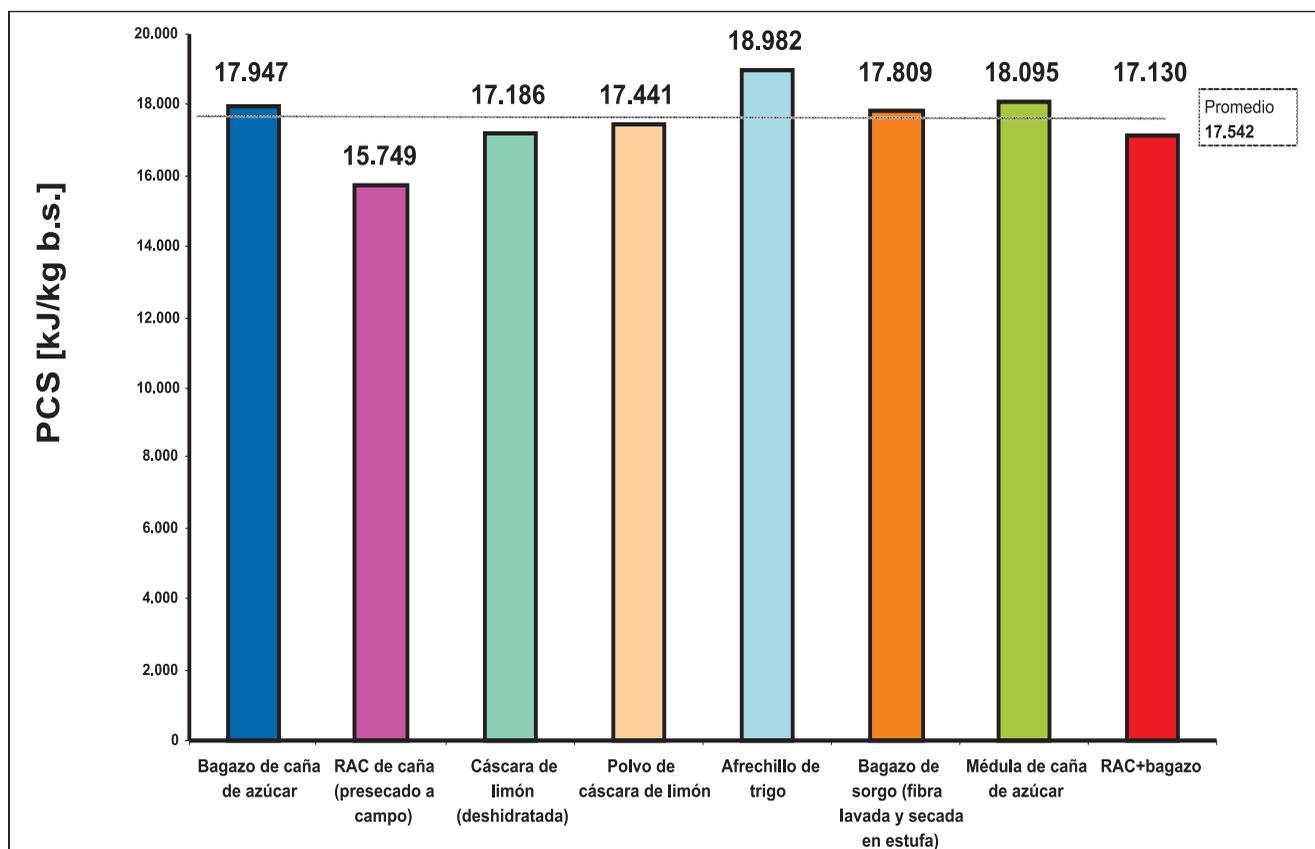


Figura 3. Valores promedio de PCS de las muestras consideradas.

combustible.

Con respecto al contenido de cenizas, resulta indispensable determinar su composición química para definir el comportamiento de la biomasa en los procesos de conversión energética. Estos valores deben ser tenidos en cuenta para optimizar el diseño de los equipos de combustión, evitar obstrucciones por fusión de cenizas y prevenir deterioros por corrosión, entre otras cuestiones.

Consideraciones finales

Además de los parámetros de análisis determinados, es importante realizar otras determinaciones elementales para evaluar las propiedades de una biomasa

como combustible. Dichas determinaciones apuntan a parámetros como el contenido de sustancias volátiles y la composición elemental del combustible (%C, %H, %S, %O, %N). Esto permitirá calcular el PCI de la biomasa.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos, y considerando que los residuos orgánicos no contribuyen al aumento del efecto invernadero (IDAE, 2007), la EEAOC viene estudiando las distintas biomásas de la región con vistas a su aprovechamiento energético.

Se espera que el sector industrial de nuestra provincia pueda aprovechar energéticamente estos residuos agroindustriales, mejorando la ecuación económica de su empresa y contribuyendo a disminuir el impacto ambiental.

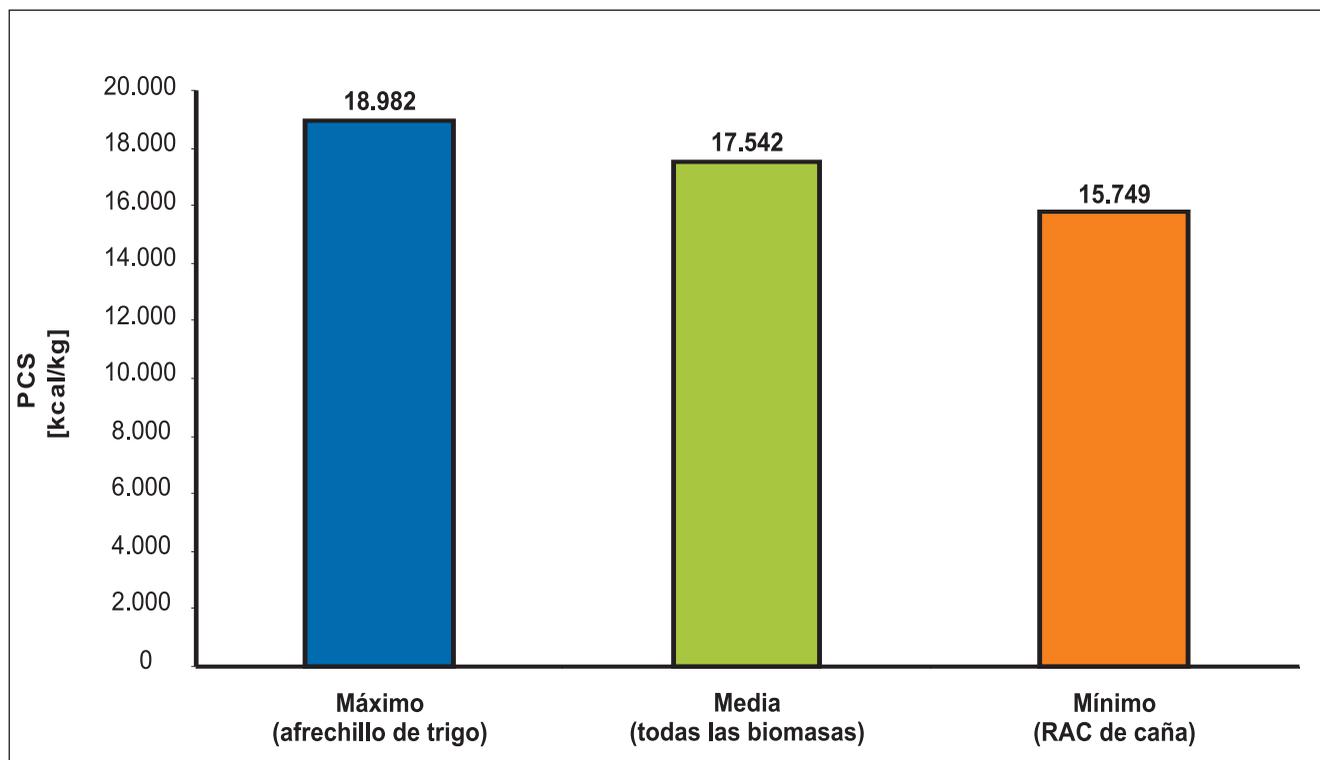


Figura 4. Valores máximo, mínimo y medio de PCS del total de las muestras ensayadas.

Bibliografía citada

- AOAC International. 2005.** Official methods of analysis of AOAC International. 18. ed.: AOAC International, Gaithersburg, Maryland, USA.
- Aso, G.; E. A. Feijóo; S. M. Sosa y D. Paz. 2008.** Residuos agrícolas de la cosecha en verde de la caña de azúcar. Experiencias de secado natural en el campo. Avance Agroind. 29 (1): 19-22.
- Castells, X. E.; C. Cadavid; E. Campos Pozuelo; X. Flotats Ripoll; J. García Martínez; J. Gaya Fuertes; L. Jurado de Gracia; F. Ruiz-Alvarez Usamentiaga; L. V. Cremades Oliver y E. Velo García. 2005.** Tratamiento y valoración energética de residuos. Editorial Díaz de Santos, Madrid, España.
- De Boeck, G.; G. Aso; D. Paz; B. Camen. 2009.** Gasificación: alternativa tecnológica para la utilización de la biomasa como fuente energética. Avance Agroind. 30 (1): 16-20.
- Diez, O. A.; G. J. Cárdenas; 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. Agríc. de Tucumán 87 (1). En prensa.
- Hugot, E. 1964.** Manual para ingenieros azucareros. 2ª impresión en español: Editorial Continental S.A., D.F., México.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2007.** Energía de la biomasa. Editorial IDEA, Madrid, España.



- **No** subir a torres
- **No** acercarse a cables
- **No** encender fuego debajo de la línea
- **No** arrojar objetos a los cables
- **No** circular con máquinas que superen los 4,30 m incluida la antena

08004448726

Atención de Reclamos para la Seguridad Pública