

## **CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR (RAC) DE TUCUMÁN, ARGENTINA**

**G. del H. Zamora Rueda, M.G. Mistretta, F. L. Peralta, C. E. Gutiérrez, E. A. Feijóo, M. A. Golato, D. Paz y G.J. Cárdenas.**

Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI). Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). C.P. 4101- Las Talitas- Tucumán. [www.eeaoc.org.ar](http://www.eeaoc.org.ar)  
Tel. 0381-4521000 e-mail: [gzamora@eeaoc.org.ar](mailto:gzamora@eeaoc.org.ar)

*Recibido 16/09/15; Aceptado 14/10/15*

**RESUMEN.**- Los análisis termogravimétricos y energéticos son fundamentales para caracterizar el potencial de la biomasa como combustible para producir vapor. Se ha caracterizado el residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar (RAC) mediante los análisis inmediatos, poder calorífico superior, determinaciones de elementos inorgánicos y fusibilidad de cenizas, realizando una comparación con el bagazo de caña de azúcar. Se trabajó con 20 muestras provenientes de campos cañeros tucumanos. Los resultados promedio fueron: humedad (%W) 18,64; cenizas (%CZ) 14,04; sólidos volátiles (%SV) 69,20; carbono fijo (%CF) 16,75; cloro total (%CI) 0,20; azufre total (%S) 0,21; poder calorífico superior (PCS) 16.313kJ/kg y las temperaturas iniciales de fusibilidad en atmósfera oxidante y reductora fueron 1.085°C y 1.119°C, respectivamente. Se puede concluir que el RAC, en comparación con el bagazo, es un buen combustible para ser aprovechado energéticamente en las calderas de vapor.

**Palabras claves:** energía, análisis inmediato, biocombustible, biomasa.

## **ENERGETIC CHARACTERIZATION OF AGRICULTURAL WASTE OF THE HARVEST SUGAR CANE IN TUCUMAN, ARGENTINA**

**ABSTRACT.**- Thermogravimetric analysis and energy are essential to characterize the potential of biomass as fuel to produce steam. The agricultural crop residue from sugarcane (RAC) has been characterized through immediate analysis, gross calorific value, determination of inorganic elements and fusibility of ash, making a comparison with sugar cane bagasse. We worked with 20 samples from Tucuman cane fields. The average results were: Moisture (% W) 18.64; ash (CZ%) 14.04; volatile solids (% SV) 69.20; fixed carbon (% CF) 16.75; Total chlorine (% Cl) 0.20; Total sulfur (% S) 0.21; gross calorific value (PCS) 16.313kJ / kg and the initial temperatures of fusibility in oxidizing and reducing atmosphere were 1085 ° C and 1119 ° C respectively. It can be concluded that the RAC, compared with bagasse, is a good fuel to take advantage of energetically in steam boilers.

**Keywords:** energy, immediate analysis, biofuel, biomass

### **1. INTRODUCCIÓN**

En la industria azucarera de la caña de azúcar se observa con interés el uso del residuo agrícola de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) como fuente de energía para su aprovechamiento como combustible en calderas de vapor.

En la provincia de Tucumán se cultivan alrededor de 220.000 ha con caña de azúcar con una producción potencial de 1.600.000 tn de azúcar (Fandos et al., 2007).

El residuo que queda después de la cosecha en verde de la caña de azúcar se conoce como RAC y su cantidad varía, en las condiciones de Tucumán, entre 7 y 17 toneladas de materia seca/ha (Digonzelli y Ullivarri, 2012). Este residuo puede utilizarse como alimento animal, para producción de

energía y como fertilizante, entre otros usos, con incidencia favorable en la protección del medio ambiente y alta rentabilidad económica (Triana et al., 2014).

El aprovechamiento del RAC es entonces una de las alternativas con las que cuenta Tucumán para la producción de energía renovable, pues estos residuos pueden utilizarse en las calderas de los ingenios.

Esto contribuye a diversificar la matriz energética de la provincia y del país, con el "plus" ambiental que significa la reducción de la quema (Casen et al, 2012).

El análisis termogravimétrico determina el contenido de cenizas, materia volátil y carbono fijo, que influyen en la

energía que aporta la biomasa a la reacción y la velocidad de la misma (Mistretta et al., 2014).

El poder calorífico superior de un combustible 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).

El análisis de fusibilidad de cenizas es una medida del potencial que tienen los materiales combustibles de formar escorias que finalmente generan obturaciones e incrustaciones indeseables sobre las superficies interiores del hogar de un generador de vapor (Peralta et al., 2014). Asimismo, determinar los contenidos de cloro (Cl) y azufre (S) total permite conocer el grado de corrosión que se podría presentar en una caldera de vapor, debido a la formación del ácido sulfúrico y ácido clorhídrico (Gutiérrez et al., En prensa).

El presente trabajo tiene como objetivo determinar las características energéticas del RAC mediante análisis normalizados y su comparación con el bagazo de caña de azúcar.

## 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 del RAC dejado en el campo luego de la cosecha de la caña, analizando las mismas por duplicado.

Para la determinación del contenido de humedad (W), se procedió a secar las muestras de RAC en una estufa marca ORL con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso contante, siguiendo la norma NMX - F - 280 - 1991, (NMX, 1991) y ASTM D 5142-02 modificada (ASTM, 2002).

Posteriormente se realizó la trituration en un molino de cuchilla tipo fresa marca Fritcher, hasta alcanzar una granulometría adecuada (aproximadamente 1mm).

Para el análisis inmediato se utilizó un equipo analizador termogravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA701 parametrizado con una curva de calibración ajustada para el RAC, denominada "RAC-modificado".

Esta curva de ajuste se logró a partir de los ensayos realizados en una mufla en comparación con los resultados obtenidos en el TGA. Este equipo realiza inicialmente el secado de las muestras y volatilización de las mismas hasta 900°C durante cinco minutos en una atmósfera controlada de nitrógeno, determinando por gravimetría el contenido de sólidos volátiles (SV). Luego procede a la calcinación de las muestras a una temperatura de 750°C hasta peso constante en presencia de oxígeno, determinando nuevamente de manera gravimétrica el contenido de cenizas (CZ). Por último determina por diferencia de peso el contenido de carbono fijo (CF), en base a la ecuación (1). El equipo informa los resultados en % en base seca (b.s.). Esta

metodología sigue el procedimiento de la norma ASTM D 5142-02 (ASTM, 2002) modificada.

$$\%CF = 100 - \%CZ - \%SV \quad (1)$$

Para la determinación del poder calorífico superior (PCS), se utilizó una bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000, en operación adiabática. Previamente se preparó una pastilla con la muestra seca y triturada de RAC siguiendo la metodología ASTM D 2015-96 (ASTM, 1996).

El análisis de fusibilidad de cenizas se realizó con un equipo analizador de fusibilidad de cenizas, marca LECO, modelo AF700 siguiendo la metodología ASTM D 1857-03 (ASTM, 2003) que identifica cuatro temperaturas: la inicial de deformación (DT), de ablandamiento (ST), de semiesfera (HT) y de fluidización (FT), para dos atmósferas diferentes: oxidante (CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y reductora (CO<sub>2</sub> y CO).

Para la determinación de cloro total se siguió la metodología propuesta en ASTM E 776-87 modificada (ASTM, 1987) en dos etapas; la primera se refiere a la obtención del extracto en bomba calorimétrica con el agregado de 5 mililitros de solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> para obtener el extracto de cloruro; luego se procede a la determinación del cloruro mediante una titulación con una solución estándar de AgNO<sub>3</sub> utilizando K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> como indicador.

La determinación de azufre total se realizó siguiendo la norma ASTM D 3177-02 modificada (ASTM, 2002), en dos etapas; en la primera se obtiene un extracto en bomba calorimétrica; luego ese extracto es tratado con BaCl<sub>2</sub> para la formación de un precipitado del BaSO<sub>4</sub>; posteriormente se calcina el mismo y se determina azufre total por gravimetría.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de contenido de humedad (W), cenizas (CZ), sólidos volátiles (SV) y carbono fijo (CF) en base seca (b.s.), expresados en [%], se muestran en la Tabla 1.

Los resultados del contenido de %W se encuentran en el rango 10,50% a 28,59%, con un valor promedio de 18,64% y un C.V. % de 34,71%. Se observan diferencias en los resultados debido al tiempo transcurrido entre muestreo y cosecha (en promedio diez días). Este hecho se ve de manifiesto en el elevado C.V. %.

Los resultados del contenido de %CZ se encuentran comprendidos entre 9,84% y 18,24%, con un valor promedio de 14,04% y un C.V. % de 16,91%. La variación observada puede deberse al tipo de cosecha empleado y a las características de los campos cultivados. Este hecho también se ve reflejado en el C.V. % determinado.

Los resultados del contenido de %SV se encuentran en un rango de 65,67% a 73,54%, con un valor promedio de 69,20% y un C.V. % de 3,08%. Los contenidos de %CF se encuentran en un rango de 15,75% a 17,45%, con un valor promedio de 16,75% y un C.V. % de 2,88%.

Estos resultados se encuentran en igual orden de magnitud que los informados por Barbosa Cortez *et al.*, 2008 y Nogués *et al.*, 2010.

Tabla 1: Resultados de las determinaciones termogravimétricas en muestras de RAC.

MUESTRA	%W	%CZ (b.s.)	%SV (b.s.)	%CF (b.s.)
1	28,04	18,22	65,67	16,10
2	14,10	11,47	71,66	16,86
3	26,58	16,76	67,02	16,22
4	15,97	13,51	69,64	16,85
5	17,30	9,84	73,54	16,62
6	13,59	12,59	70,78	16,63
7	15,93	17,21	65,72	17,07
8	19,80	13,23	69,42	17,35
9	10,50	11,72	71,18	17,10
10	12,96	12,40	70,14	17,45
11	10,77	12,33	70,56	17,10
12	15,41	13,65	69,48	16,86
13	12,25	13,20	69,85	16,95
14	28,59	15,15	67,64	17,20
15	10,66	11,95	70,82	17,23
16	24,49	13,85	69,13	17,02
17	24,29	12,91	70,65	16,44
18	28,16	17,16	67,10	15,75
19	25,58	17,55	66,13	16,32
20	17,76	16,05	67,99	15,96
<b>PROMEDIO</b>	<b>18,64</b>	<b>14,04</b>	<b>69,20</b>	<b>16,75</b>
<b>RANGO</b>	<b>10,50-28,59</b>	<b>9,84-18,24</b>	<b>65,67-73,54</b>	<b>15,75-17,45</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>34,71</b>	<b>16,91</b>	<b>3,08</b>	<b>2,88</b>

En la Tabla 2 se muestran los resultados del contenido de cloro total (Cl), azufre total (S) expresados en [%] en base seca.

Los valores del contenido de %Cl se encuentran comprendidos en un rango de 0,07% a 0,51%, con un valor promedio de 0,20% y un C.V. % de 49,62%.

Los contenidos de %S se encuentran en un rango de 0,13% a 0,33%, con un valor promedio de 0,21% y con un C.V. % de 26,80%. Estos resultados se encuentran en igual orden que lo informado por Woytiuk, 2006 y Jenkins et al., 1998.

En la Tabla 3 se informan los resultados del poder calorífico superior, en base seca, de las muestras de RAC analizadas.

Los valores de PCS medidos se encuentran comprendidos en un rango de 15.499 [kJ/kg] a 17.063[kJ/kg], con un valor promedio de 16.313 [kJ/kg] y un C.V. % de 2,71%.

El contenido de material inorgánico presente en el combustible influye en forma negativa en el PCS.

Estos resultados son similares a los encontrados por Castagnaro et al., 2011 y Feijóo et al., 2015.

Los resultados de la determinación de las temperaturas de fusibilidad de cenizas en muestras de RAC, en atmósferas oxidante y reductora, se muestran en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Considerando atmósfera oxidante, los valores promedios obtenidos fueron: DT=1.085°C en un rango entre 1.015 a 1.205°C, ST=1.272°C en un rango de 1.175 a 1335°C, HT=1.402°C en un rango de 1.335 a 1.480°C y FT >1.500°C.

La temperatura de fluidización (FT) del material se encuentra por arriba de la capacidad máxima de detección del equipo analizador. Esto resultaría beneficioso, ya que la fusibilidad de las cenizas no representaría un riesgo para el generador de vapor. Los valores de C.V. % de los parámetros determinados fueron 5,85%, 3,03% y 2,50% respectivamente.

Tabla 2: Resultados de los elementos inorgánicos en muestras de RAC.

MUESTRA	%Cl (b.s.)	%S (b.s.)
1	0,51	0,33
2	0,15	0,16
3	0,22	0,32
4	0,24	0,28
5	0,12	0,15
6	0,37	0,22
7	0,28	0,27
8	0,22	0,23
9	0,20	0,29
10	0,18	0,24
11	0,17	0,23
12	0,16	0,22
13	0,15	0,21
14	0,17	0,19
15	0,18	0,20
16	0,21	0,19
17	0,13	0,17
18	0,07	0,15
19	0,10	0,12
20	0,12	0,13
<b>PROMEDIO</b>	<b>0,20</b>	<b>0,21</b>
<b>RANGO</b>	<b>0,07-0,51</b>	<b>0,13-0,33</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>49,62</b>	<b>26,80</b>

Tabla 3: Resultados del poder calorífico superior (PCS) en base seca de las muestras de RAC analizadas.

MUESTRA	PCS[kJ/kg] (b.s.)
1	15.499
2	16.843
3	15.853
4	16.428
5	17.063
6	16.306
7	15.665
8	16.312
9	16.577
10	16.568
11	16.737
12	16.482
13	16.590
14	16.345
15	16.684
16	16.188
17	16.696
18	15.724
19	16.032
20	15.665
<b>PROMEDIO</b>	<b>16.313</b>
<b>RANGO</b>	<b>15.499-17.063</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>2,71</b>

Tabla 4: Resultados de las temperaturas de fusibilidad de cenizas de RAC en atmósfera oxidante.

MUESTRAS	ATMÓSFERA OXIDANTE			
	DT [°C]	ST [°C]	HT [°C]	FT [°C]
1	1.205	1.330	1.445	>1.500
2	1.110	1.260	1.380	>1.500
3	1.200	1.325	1.445	>1.500
4	1.125	1.265	1.370	>1.500
5	1.025	1.285	1.445	>1.500
6	1.140	1.260	1.370	>1.500
7	1.020	1.270	1.390	>1.500
8	1.030	1.225	1.385	>1.500
9	1.035	1.175	1.390	>1.500
10	1.030	1.265	1.395	>1.500
11	1.090	1.245	1.385	>1.500
12	1.125	1.260	1.395	>1.500
13	1.020	1.285	1.335	>1.500
14	1.015	1.335	1.390	>1.500
15	1.085	1.280	1.370	>1.500
16	1.195	1.260	1.420	>1.500
17	1.045	1.250	1.385	>1.500
18	1.100	1.330	1.445	>1.500
19	1.070	1.250	1.410	>1.500
20	1.035	1.290	1.480	>1.500
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.085</b>	<b>1.272</b>	<b>1.402</b>	<b>&gt;1.500</b>
<b>RANGO</b>	<b>1.015-1.205</b>	<b>1.175-1.335</b>	<b>1.335-1.480</b>	<b>-</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>5,85</b>	<b>3,03</b>	<b>2,50</b>	<b>0</b>

Los resultados del análisis de fusibilidad de cenizas para atmósfera reductora fueron en promedio: DT=1.119°C en un rango entre 1.005°C a 1.345°C, ST=1.350°C en un rango de 1.235 a 1.445°C, HT=1.455°C en un rango de 1.385 a 1.500°C y FT >1.500°C. Los valores de C.V. % de los parámetros determinados fueron 9,54%, 3,97% y 2,37% respectivamente.

Asimismo, del análisis de fusibilidad se puede inferir que la mínima temperatura inicial de deformación registrada (DT)

fue de 1.015°C en atmósfera oxidante y de 1.005°C en atmósfera reductora. En cuanto a la máxima temperatura promedio registrada (FT), fue mayor a 1.500°C para ambas atmósferas analizadas. Este hecho podría deberse a la presencia de elevadas concentraciones de metales u otras sales en la constitución del RAC, que posteriormente se oxidan durante la combustión formando sales de elevado punto de fusión (Fernández Llorente et al., 2006 y Peralta et al., 2014).

Tabla 5: Resultados de las temperaturas de fusibilidad de cenizas de bagazo en atmósfera reductora.

MUESTRAS	ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT[°C]	ST[°C]	HT[°C]	FT[°C]
1	1.285	1.380	1.400	>1.500
2	1.055	1.365	1.395	>1.500
3	1.320	1.400	1.460	>1.500
4	1.345	1.445	1.500	>1.500
5	1.020	1.290	1.430	>1.500
6	1.250	1.335	1.465	>1.500
7	1.040	1.415	1.450	>1.500
8	1.005	1.335	1.385	>1.500
9	1.010	1.385	1.455	>1.500
10	1.045	1.320	1.455	>1.500
11	1.105	1.265	1.455	>1.500
12	1.205	1.345	1.465	>1.500
13	1.045	1.355	1.500	>1.500
14	1.110	1.400	1.500	>1.500
15	1.180	1.350	1.450	>1.500
16	1.105	1.305	1.440	>1.500
17	1.070	1.235	1.445	>1.500
18	1.080	1.295	1.500	>1.500
19	1.060	1.400	1.445	>1.500
20	1.045	1.380	1.495	>1.500
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.119</b>	<b>1.350</b>	<b>1.455</b>	<b>&gt;1.500</b>
<b>RANGO</b>	<b>1.005-1.345</b>	<b>1.235-1.445</b>	<b>1.385-1.500</b>	<b>-</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>9,54</b>	<b>3,97</b>	<b>2,37</b>	<b>0</b>

La Tabla 6 muestra una comparación de los resultados obtenidos en este trabajo, con similares determinaciones encontradas en bibliografía sobre muestras de bagazo (Hassauani et al., 2005).

Asimismo, se comparan los resultados para RAC con los indicados por Barboza Cortez et al., 2008.

Se puede observar que el contenido promedio de humedad del RAC presenta valores más bajos comparados con el bagazo, ya que la humedad del RAC depende de su secado natural al campo. Los valores de %CZ de RAC presentan un promedio de 14,04 con respecto al bagazo de 2,20, como los indicados por Hassauani et al., 2005. Con respecto a los valores obtenidos de %SV y %CF se encuentran en el

mismo orden de magnitud que los observados en bibliografía.

En la Tabla 7 se observan los contenidos de %Cl total, en muestras de RAC en comparación con las muestras de bagazo como los encontrados por Hassauani et al., 2005.

Los valores de RAC presentan un promedio de 0,20 en relación al bagazo con promedio de 0,10. Los contenidos de %S total presentan un promedio en muestras de RAC de 0,21 en relación al bagazo con promedio de 0,02 como lo indicado por Hassauani et al., 2005. En los resultados promedio de PCS de las muestras de RAC y su comparación con las muestras de bagazo se observan valores próximos en ambas biomásas, según lo informado por Castagnaro et al., 2011 y Woytiuk, 2006.

Tabla 6: Parámetros termogravimétricos de muestras de RAC comparadas con muestras de bagazo.

MUESTRA	W [%]	CZ[%]b.s.	SV[%] b.s.	CF[%]b.s.
RAC	18,64	14,04	69,20	16,75
RAC (Barboza Cortes et al. 2008)	8,65	12,92	73,28	14,96
Bagazo (Hassauani et al., 2005)	50,20	2,20	79,90	18,00

Tabla 7: Parámetros inorgánicos y energéticos de muestras de RAC comparadas con muestras de bagazo.

MUESTRA	Cl [%] b.s.	S[%]b.s.	PCS[kJ/kg]b.s.
RAC	0,20	0,21	16.313
RAC(Woytiuk, 2006)	0,40	0,22	17.725
RAC (Castagnaro et al.,2011)	-	-	16.371
Bagazo (Hassauani et al.,2005)	0,10	0,02	18.100

Tabla 8: Parámetros de fusibilidad de cenizas en ambas atmósferas en muestras de RAC comparadas con muestras de bagazo.

MUESTRA	FUSIBILIDAD DE CENIZAS							
	ATMÓSFERA OXIDANTE				ATMÓSFERA REDUCTORA			
	DT (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)	DT (°C)	ST (°C)	HT (°C)	FT (°C)
RAC	1.085	1.272	1.402	>1.500	1.119	1.350	1.455	>1.500
RAC (Peralta et al, 2014)	1.058	1.196	1.322	>1.455	1.054	1.236	1.374	>1.455
Bagazo (Peralta et al, 2014)	1.110	1.235	1.334	>1.455	1.081	1.236	1.385	>1.455

La Tabla 8 muestra los resultados promedio del análisis de la fusibilidad de cenizas de RAC en relación a los valores de bibliografía sobre muestras de bagazo; estos valores son mayores que los presentados por Peralta et al., 2014, lo cual podría deberse a los elevados valores de ceniza obtenidos para este lote de muestras.

#### 4. CONCLUSIONES

Se puede concluir que las características energéticas del RAC son similares a las del bagazo de la caña de azúcar. Los resultados obtenidos se encuentran en el mismo orden de magnitud respecto a los encontrados en bibliografía. Los parámetros termogravimétricos, inorgánicos, energéticos y de fusibilidad de cenizas evaluados fueron en promedio: %W 18,64; %CZ 14,04; %SV 69,20; %CF 16,75; %Cl 0,20; %S 0,21 y PCS 16.313[kJ/kg]. La temperatura inicial de fusibilidad de ceniza del RAC analizado en atmósfera oxidante fue de 1.085°C; y en atmósfera reductora, de 1.119°C. Esto permite comprender a qué temperatura comienzan a fundirse las cenizas del RAC en una caldera de vapor, de manera de regular la temperatura del hogar y evitar conglomerados y vitrificación del mismo. Se puede observar que, para este lote de muestras ensayadas, las temperaturas de fusibilidad de las cenizas de RAC son más elevadas en ambas atmósferas que las del bagazo de caña de azúcar.

Esto podría deberse a componentes inorgánicos de alto punto de fusión presentes en las cenizas del lote analizado.

#### REFERENCIAS

ASTM D 1857-03. (2003). Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash.  
 ASTM D 2015-96. (1996). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter  
 ASTM D 3177-02. (2002). Standard Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke.

ASTM D 5142-02. (2002). Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures.  
 ASTM E 776-87. (1987). Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel.  
 Barboza Cortez L.A.; Silva Lora E.E. y Olivares Gómez E. (2008). *Biomasa para la Energía*. Editorial Unicamp.  
 Casen S.D; Marto L.A.; Medina M.M.; Romero R.E.; Torres Bugeau A. y Pérez D. (2012). Evaluación del desempeño de dos enfardados para la recolección del residuo agrícola de cosecha (RAC) de caña de azúcar en Tucumán. XVII Reunión Técnica de la Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar (SATCA) 2012.  
 Castagnaro A.; Golato M.A., Paz D.y Feijóo E.A.. (2011). Caracterización energética de biomasa residuales de origen agroindustrial de Tucumán. *Avance Agroindustrial* **32** (2): 32-37.  
 Digonzelli, P. y Fernandez de Ullivarri J. (2012). La cosecha en verde y manejo del RAC es el camino a transitar por la actividad azucarera. [En línea]. Disponible en: <http://www.eeaoc.org.ar/noticias/227/La-cosecha-en-verde-y-el-manejo-del-RAC-es-el-camino-a-transitar-por-la-actividad-azucarera.html> (consultada 10 Junio 2015).  
 Fandos, C.; Soria F. J.; Scandaliaris J. y Scandaliaris P. (2007). Perspectivas de producción azucarera para la zafra 2007 en la provincia de Tucumán. *Revista Avance Agroindustrial* **28** (2): 13-16.  
 Feijóo, E.; Golato M.A.; Paz D.y Cárdenas G.J. Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) como combustible alternativo en calderas de vapor bagaceras. RIAT (en prensa).  
 Fernández Llorente, M. J.; Escalada Cuadrado R.; Murillo Laplaza J. M.; Carrasco García J. E. (2006). Combustion in bubbling fluidised bed with bed material of limestone to reduce the biomass ash agglomeration and sintering. *Fuel* **85**: 2081-2092.  
 Gutiérrez C.; Mistretta G.; Zamora Rueda G.; Peralta F.; Golato M. A., Coronel M., Ruiz M. y Paz D.

- Determinación del contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán. RIAT (en prensa).
- Hassauani, S.J.; Verde Leal M.R.L.; Carvalho Macedo I. (2005). Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash. 1° Edición- Piracicaba, Brasil. Editorial PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento).
- Hugot, E. (1964). Manual para ingenieros azucareros. 2ª impresión en español: Editorial Continental S.A., D.F., México.
- Jenkins B. M.; Baxter L.L.; Miles Jr. T.R.; Miles T. R. (1998). Combustion properties of biomass. Fuel Processing Technology 54: 17–46.
- 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.
- NMX-F-280-1991. Industria Azucarera Determinación de humedad en muestras de bagazo.
- Nogués, F.S; D. García Galindo y A. Rezeau. (2010). Energías Renovables. Energía de la Biomasa. Volumen 1. Prensa Universitaria de Zaragoza.
- Peralta, F.L.; Zamora Rueda G.; Mistretta G.; Zalazar H.; Bravo M.V.; Feijóo E. A.; Golato M.A.; Paz D., y Cárdenas G.J. (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.
- Traina O.; Hernández T.; Martínez M.y Vásquez A. (2014). Caracterización de los residuos de la cosecha de la caña de azúcar almacenados a granel. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, vol.48 N°1.
- Woytiuk, K. (2006). Master's Thesis- Sugar Cane Trash Processing for Heat and Power Production. Department of applied physics and mechanical engineering. Lulea University of technology, Lulea, Switzerland.