

Contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán

Cynthia Gutierrez*; Gabriela Mistretta*; Gimena Zamora*; Florencia Peralta*; Marcos A. Golato*, Mónica Coronel**, Marcelo Ruiz**, Dora Paz* y Gerónimo Cárdenas***

RESUMEN

El contenido de cloro total de una biomasa resulta fundamental en el análisis de la corrosión que puede provocar su combustión en el interior de un generador de vapor. Con el objetivo de estudiar el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar (RAC) de Tucumán, se ha caracterizado ese contenido para la variedad LCP85-384, siguiendo la metodología indicada en la norma ASTM E 776-87 modificada. Se analizaron 61 muestras provenientes de diferentes campos cañeros de la provincia de Tucumán. Se determinó que el contenido de cloro total (%Cl) varía en un rango entre 0,07% y 0,63%, con un promedio de 0,23% y una desviación estándar (CV%) de 54,85%. Para medir la exactitud del método empleado se estudió la recuperación porcentual de cloruro (%R). Se determinó que se encuentra en un rango entre 86,04% a 114,10%, con un valor promedio de 99,80% y un (CV%) de 8,02.

Palabras clave: biomasa, biocombustibles, energía, combustión.

ABSTRACT

Total chlorine content in sugar cane agricultural crop residues (ACR) in Tucumán

The total chlorine content of biomass is essential in the analysis of corrosion which can cause combustion inside a steam generator. In order to study the energy use of agricultural crop residues in sugar cane (ACR) of Tucuman, has characterized it for the variety LCP85-384, following the methodology outlined in ASTM E 776-87 modified. 61 samples from different cane fields in Tucumán were analyzed. It was determined that the total chlorine content (% Cl) varies in a range between 0.07% and 0.63%, with an average of 0.23% and a residual standard deviation (RDS %) of 54.85%. To measure the accuracy of the method chloride percent recovery was studied. It was determined that the percent recovery (% R) are in a range of 86.04% to 114.10%, with an average value of 99.80% and RDS% of 8.02.

Key words: biomass, biofuels, energy, combustion.

* Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales, EEAOC. e-mail: mediciones@eeaoc.org.ar

** Sección Química de los productos Agroindustriales, EEAOC.

*** Coordinador Programa de Bioenergía – EEAOC.

INTRODUCCIÓN

El incremento en el consumo energético registrado en los últimos años se debe, principalmente, a la mayor demanda de energía de la industria y al mayor consumo eléctrico en los hogares (Núñez Camargo, 2012). Esto ha llevado a explorar nuevas fuentes de energías "neutrales" respecto al CO₂ y renovables (Berlanga Labari *et al.*, 2006). En estas fuentes, la energía contenida en la biomasa proviene de la fotosíntesis, es decir, que al ser utilizada como combustible libera una cantidad equivalente de CO₂ que almacena durante su crecimiento (Berlanga Labari *et al.*, 2006; Menéndez *et al.*, 2013; Cárdenas y Garolera De Nucci, 2013).

El aprovechamiento de los residuos provenientes de la cosecha de caña de azúcar (RAC) es una de las alternativas con las que cuenta Tucumán para la producción de energía renovable, puesto que estos residuos pueden utilizarse, previo acondicionamiento, en calderas de vapor de los ingenios azucareros de la provincia (Casen *et al.*, 2012; Feijóo *et al.*, en prensa; Golato *et al.*, en prensa).

El RAC es un material lignocelulósico formado por compuestos elementales como carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S). (Gehlawat, 1994; Nogués *et al.*, 2010). Además, suele contener cantidades relativamente importantes de silicio (Si), potasio (K), sodio (Na) y cloro (Cl), entre otros. (Berlanga Labari y Fernández Carrasquilla, 2006; Kirkby y Römheld, 2007; Fungaro y Reis, 2014).

Asimismo, el comportamiento de las cenizas del RAC en el hogar de la caldera resulta altamente dependiente de este combustible, debido al mayor contenido de minerales, elevado contenido de cenizas de bajo punto de fusión y alto potencial corrosivo (Melissari, 2012).

El K y el Na son dos elementos que reaccionan con el Cl en fase gaseosa formando cloruros, pudiendo llegar a depositarse sobre las superficies metálicas y generar, bajo condiciones determinadas, corrosión en estas (Berlanga Labari *et al.*, 2006; Woytiuk, 2006; Nogués *et al.*, 2010).

Durante el proceso de combustión, el Cl presente en la biomasa, además de contribuir a la formación de contaminantes que posteriormente saldrán del generador de vapor con los gases efluentes por la chimenea, puede combinarse con el agua proveniente de la biomasa, de la combustión de esta y de la humedad del ambiente, causando problemas de corrosión acelerada en las superficies metálicas expuestas a los gases y a la acción del calor (Björkman y Strömberg, 1997; Baxter *et al.*, 1998; Berlanga Labari y Fernández Carrasquilla, 2006; Woytiuk, 2006).

En general, los aceros inoxidable presentan una

resistencia a la corrosión moderada en contacto con HCl cuando su temperatura y concentración son bajas, sobre todo si en la composición elemental del material se incluyen níquel (Ni), molibdeno (Mo) o cobre (Cu) (Otero Huerta, 1997), aunque pueden existir riesgos de ataque localizado por picadura y corrosión bajo tensión del material.

A temperaturas superiores al ambiente, las velocidades de corrosión son mayores, de forma que en contacto con ácido diluido caliente resulta adecuado el empleo de aceros inoxidable con alto contenido en Mo y Cu, mientras que para altas concentraciones de ácido y elevada temperatura se sugiere el empleo de aleaciones al Ni – Mo, como posible alternativa a la utilización de aceros inoxidable (Carboneras Chamorro, 2004).

Para el caso de los tubos de acero de calderas de vapor de alta presión (mayores a 10 Bar) sometidas a la acción del fuego, las velocidades de corrosión son aun mayores por efecto de la elevada temperatura y a la presencia de contenidos de Cl y S en el combustible (Peña Ballesteros *et al.*, 2013; Riedl *et al.*, 1999). Según Carboneras Chamorro (2004), las aleaciones de Ni – Mo mejorarían el comportamiento de los aceros frente a la corrosión. Por otro lado, Melissari (2012) considera que calderas de vapor de alta presión que queman biomasa diferentes al carbón y que contienen Cl y S en su composición elemental deberían cambiarse los tubos cada 10.000 horas de operación. En Tucumán, la industria azucarera utiliza normalmente tubos de acero al carbono laminado en caliente sin costura de la denominación ASTM A 192-02 (ASTM, 2002). Según las especificaciones de esta norma, la composición química del material de los tubos contiene: carbono de 0,06% a 0,18%; manganeso de 0,27% a 0,63%; fósforo máximo de 0,35%; azufre máximo de 0,035% y silicio máximo de 0,25%. Asimismo, algunos ingenios azucareros registran cambios de tubos por corrosión cada 10 años para calderas que queman bagazo de caña de azúcar y gas natural como adicional.

Según Hassauani *et al.* (2005) y Torres Manríquez y Miranda Guardiola (2007), el bagazo de caña de azúcar posee un contenido promedio de Cl de 0,10%.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el contenido de Cl en muestras de RAC procedentes de cañaverales de Tucumán (por medio de análisis de laboratorio), y ajustar la metodología siguiendo la norma ASTM E 766-87 modificada (ASTM, 1987). Al no disponer de un electrodo específico para la determinación potenciométrica y siendo necesario conocer los contenidos de Cl de un material como el RAC, del que poco se conoce localmente, se analizaron determinaciones posibles, sencillas y accesibles que pudiesen emplearse para evaluar el contenido de este elemento fundamental para el diseño de calderas que operen a presiones elevadas, con exactitud analítica.

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 61 muestras de RAC de caña de azúcar, de la variedad LCP85-384, de diferentes campos cañeros de Tucumán. Esta variedad de caña representa el 83,05% de la caña cultivada en la provincia (Ostengo *et al.*, 2015).

Para la determinación del contenido de cloro total se siguió la metodología propuesta en la norma ASTM E 776-87 modificada. Dicha modificación consistió en la realización de una valoración por precipitación usando como indicador una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) para determinar el contenido de cloro, como se indica en el Standard Methods (2012) para la determinación de cloruros en agua, en vez de la valoración potenciométrica establecida en la norma original, efectuándose pruebas de validación de esta.

La norma original determina cloro total mediante dos métodos posibles. El primer método es una valoración potenciométrica que se realiza con una solución titulante de nitrato de plata ($AgNO_3$) 0,01 N, utilizando como indicador un electrodo indicador de plata (Ag). El segundo método es la titulación modificada de Volhard con una solución titulante de tiocianato de potasio (KCNS) 0,025 N, utilizando como indicador una solución de sulfato de amonio férrico ($FeNH_4(SO_4)_2$). La norma antes mencionada indica que el método potenciométrico debe llevarse a cabo cuando la solución es turbia y no es posible la detección del punto final de la valoración, empleando un indicador visual. El punto final de esta valoración se determina gráficamente, ubicando el punto de inflexión a partir de la gráfica de la curva de titulación.

La norma modificada, usada en este trabajo, emplea una valoración por precipitación usando como indicador una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).

Se utilizó una bomba calorimétrica automatizada, marca IKA, modelo C5000, en operación adiabática, donde se realizó la combustión de una pastilla fabricada a partir de la muestra de RAC a ensayar, en presencia de una solución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 2 %. El cloro, durante la combustión, se convierte en cloruro y es absorbido en esta solución.

Posteriormente se lavó el interior de la bomba y la cápsula de la muestra con agua destilada y se recogieron los lavados en un vaso de precipitación. Se llevó a pH neutro con solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 2,5%.

Para la valoración se empleó una solución titulante de $AgNO_3$ 0,01 N, utilizando como indicador solución de $K_2Cr_2O_7$ al 5%, donde la plata reacciona con los cloruros para formar un precipitado de cloruro de plata (AgCl). En

las inmediaciones del punto de equivalencia, al agotarse el ión cloruro comienza la precipitación del dicromato de plata ($Ag_2Cr_2O_7$), que puede identificarse por el viraje del indicador de amarillo a rojo ladrillo en el seno de la solución. En este momento se da por terminada la valoración.

El cálculo del contenido de cloro total se realizó por medio de la ecuación 1. Esta se encuentra basada en la norma ASTM E 776-87 y fue modificada para obtener el contenido de cloro total por gramos de muestra en base seca (b.s.):

$$\% Cl \left[g \text{ Cl} / 100 g \text{ muestra b.s.} \right] = \frac{V * N * 35,45 * V_d}{10 * V_m * m}$$

Ecuacion 1

Donde

V: Volumen de solución titulante de $AgNO_3$ consumido en la valoración de la muestra de RAC, en [mL].

N: Normalidad de la solución de titulante de $AgNO_3$, [N].

Vd: Volumen total de solución obtenida de la bomba calorimétrica y los lavados, en [mL].

Vm: Volumen de alícuota de solución de lavado utilizada para valorar, en [mL].

m: peso seco de muestra de RAC utilizada para fabricar la pastilla, en [g].

35,45: Peso equivalente del ion cloruro [g/eq.].

Para medir la exactitud del método empleado se estudió la recuperación porcentual de cloruro; para ello se tomaron 18 muestras y se les adicionó 0,5 ml, 1,0 ml y 2,0 ml, respectivamente, de una solución patrón de cloruro de sodio ($NaCl$) de concentración 1 [mg/ml] de Cl a las pastillas fabricadas a partir de las muestras de RAC.

Las pastillas fortificadas se sometieron al mismo procedimiento de la norma ASTM E 776-87 modificada empleada para la determinación de cloro total.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 pueden observarse los resultados de las determinaciones del contenido de %Cl de las muestras analizadas, los que se encuentran expresados en [%] en

Tabla 1. Análisis estadístico realizado para el Contenido de %Cl de muestras de RAC de Tucumán.

Medidas	Valores
N	61
Promedio [% Cl]	0,23
Mínimo [% Cl]	0,07
Máximo [% Cl]	0,63
Coefficiente de variación [CV%]	54,85

base seca (b.s.). Además, se observa el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas.

El rango de valores se encuentra entre 0,07% a 0,63%, con un promedio de 0,23% y un CV% de 54,85.

El elevado CV% podría deberse a los diferentes tipos de suelos cañeros que presenta la provincia de Tucumán (Zuccardi y Fadda, 1985), a la calidad del agua de riego y a las posibles mezclas de diferentes productos en las fertilizaciones que se realizan en los campos (Kirkby y Römheld, 2007; Singh *et al.*, 2008), consideración que deberá tenerse en cuenta en posteriores estudios para determinar la influencia de cada fuente.

La Figura 1 muestra el gráfico de dispersión de los valores obtenidos en este estudio e indicados en la Tabla 1.

La Tabla 2 muestra el contenido de cloro total en RAC de caña de azúcar proveniente de diferentes productoras del mundo y de diferentes campos de Tucumán.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron comparados con los determinados para este mismo residuo agrícola por Baxter *et al.* (1998) y Jenkins *et al.* (1998), que utilizaron la norma original empleada en este trabajo (ASTM E776); por Woytiuk (2006), que utilizó una titulación colorimétrica; por Hassauani *et al.* (2005), que utilizó la norma ASTM D 4208 que se aplica para carbón mineral; Bizzo *et al.* (2013) y Azad *et al.* (2014), donde no especifican el método utilizado. También se compararon con los valores obtenidos en el Laboratorio de Química de

Tabla 2. Contenidos de cloro total de RAC para diferentes regiones del mundo

Lugar	Contenido Cl [%]	Referencia bibliográfica
EE. UU.	0,23	Baxter <i>et al.</i> (1998)
EE. UU.	0,23	Jenkins <i>et al.</i> (1998)
San Pablo, Brasil	0,40	Hassauani <i>et al.</i> (2005)
Maui, Hawái	0,40	Woytiuk (2006)
Brasil	0,44	Bizzo <i>et al.</i> (2013)
Malasia	0,40	Azad <i>et al.</i> (2014)
Tucumán, Argentina	0,25	Laboratorio de Química EEAOC para este estudio
Tucumán, Argentina	0,23	RAC para este estudio

los Productos Agroindustriales de la EEAOC, utilizando el procedimiento 4500-Cl- B para la detección del punto final en el proceso de titulación, para 20 muestras de RAC del lote analizado (Standard Methods, 2012).

En Tabla 3 se muestran los resultados del porcentaje de recuperación de cloruro (%R), obtenido de las muestras evaluadas. Además, se observa el análisis estadístico realizado para las muestras ensayadas.

El rango de valores de %R se encuentra entre 86,04% a 114,10%, con un valor promedio de 99,80% y un CV% de 8,02. Estos valores de %R se encuentran en el rango de valores tomados como referencia, establecidos por el Codex Alimentariux que sugiere un rango de porcentajes

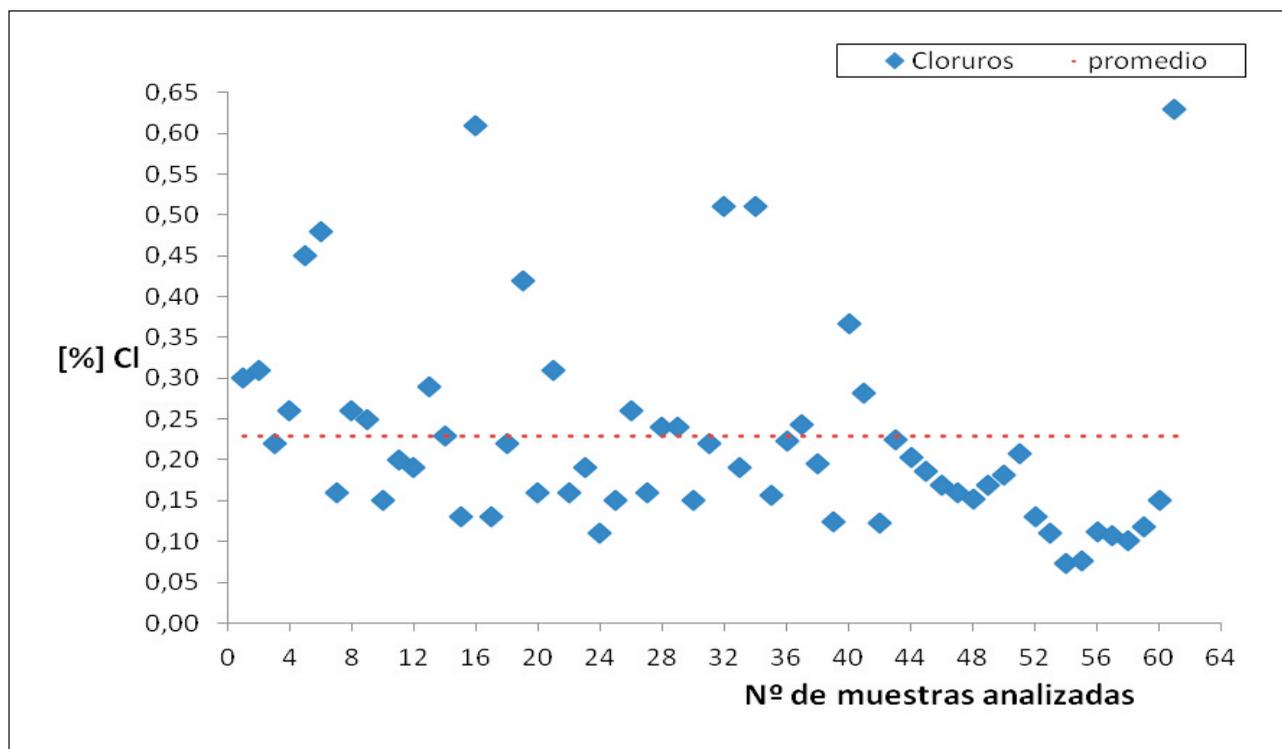


Figura 1. Contenido de %Cl en muestras de RAC de Tucumán.

Tabla 3. Análisis estadístico realizado para los porcentajes de recuperación de Cl (%R) de las muestras enriquecidas.

Medidas	Valores
N	18
Promedio [%R]	99,80
Min [%R]	86,04
Max [%R]	114,10
CV%	8,02

medios de recuperación entre el 70% al 110 % para concentraciones mayores a 1[mg/kg] y una repetibilidad (CV%) entre el 10 y 14 (Codex Alimentarius, 2010).

En la Figura 2 se observa el gráfico de la recta de regresión obtenido a partir de los resultados del análisis del contenido del cloro recuperados versus los agregados de las muestras fortificadas con NaCl. Para ello se utilizó el programa estadístico Infostat versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

Como puede observarse en la recta de regresión obtenida para la metodología analizada, la pendiente de esta (0,9909) es próxima a uno, lo que indica que hay relación lineal entre los gramos de Cl recuperados y los gramos agregados. El valor del coeficiente de determinación lineal ($R^2= 0,9810$) resultó altamente significativo.

CONCLUSIONES

Los valores de Cl obtenidos de las muestras de RAC analizadas provenientes de lotes de caña de azúcar de la provincia de Tucumán se encuentran entre 0,07% y 0,63%, con un promedio de 0,23% y un CV% de 54,85%.

La técnica propuesta para determinar %Cl, utilizando la norma ASTM E 776-87 modificada, presenta buena linealidad en el rango estudiado de concentraciones, y los porcentajes de recuperación de cloruro (promedio 99,80 %) se encontraron dentro del rango adoptados por el LEMI tomando como referencia el Codex Alimentarius.

La metodología ajustada a partir de la norma de referencia (ASTM E 776-87) resultó adecuada para el tipo de biomasa ensayada; además presenta la ventaja de ser más accesible su implementación, debido a que no es necesario disponer de un electrodo de ion selectivo, requisito de la metodología original.

Si bien el contenido promedio de %Cl en las muestras de RAC analizadas (0,23%), resulta aproximadamente el doble del encontrado en el bagazo por otros autores (0,10%), estas concentraciones resultarían relativamente bajas; y más aun si se considera que el período de vida útil de los tubos de caldera en los ingenios de Tucumán supera ampliamente lo indicado por Melissari (2012).

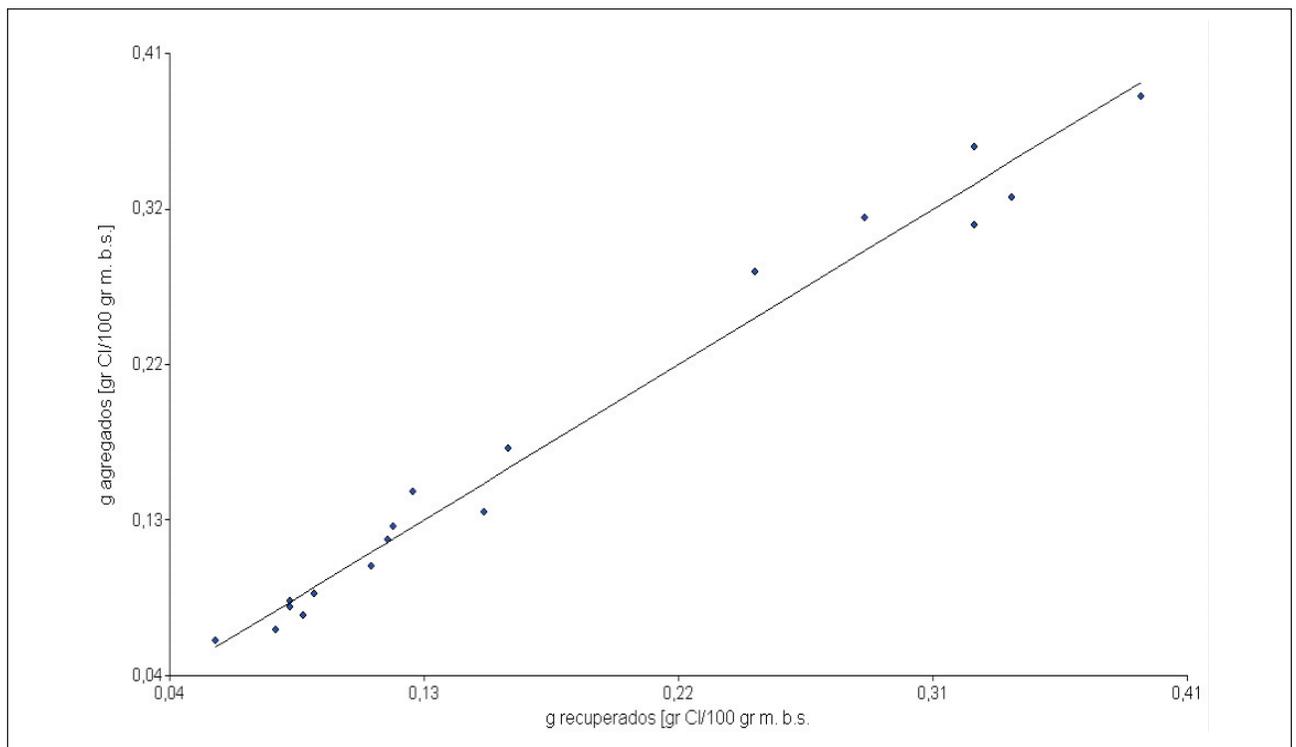


Figura 2. Recta de regresión obtenida para la cantidad recuperada versus la cantidad agregada de solución patrón de cloruro de sodio (NaCl) de concentración 1 [mg/ml] de Cl y su valor de R^2 .

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ASTM E 776-87, 1987.** "Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel". ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM A 192-02, 2002.** "Standard Specification for Seamless Carbon Steel Boiler Tubes for High-Pressure Service". ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- ASTM A 209-03, 2003.** "Standard Specification for Seamless Carbon-Molybdenum Alloy-Steel Boiler and Superheater Tubes". ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Azad, A. K.; S. Islam and L. Amin. 2014.** Biomass and Bioenergy. Chapter 16: Straw Availability, Quality, Recovery, and Energy Use of Sugarcane. Editorial Springer: 275-287.
- Baxter L. L.; T. R. Miles; T. R. Miles Jr.; B. M. Jenkins; T. Milne; D. Dayton; R. W. Bryers and L. L. Oden. 1998.** The behavior of inorganic material in biomass-fired power boilers: field and laboratory experiences. Fuel Processing Technology 54: 47-78.
- Berlanga Labari, C. y J. Fernández Carrasquilla. 2006.** Revisión sobre la corrosión de tubos sobrecalentadores en plantas de biomasa. Revista de Metalurgia, 42 (4): 299-317.
- 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.
- Björkman, E. and B. Strömberg. 1997.** Release of Chlorine from Biomass at Pyrolysis and Gasification Conditions. Energy Fuels, 11 (5): 1026-1032.
- Cárdenas, G. J. y P. Garolera De Nucci. 2013.** Sostenibilidad en la producción de biocombustibles. Avance Agroindustrial EEAOC. Argentina. 33 (2): 39-43.
- Carboneras Chamorro, M. 2004.** Evaluación de la influencia de la adición de cobre y estaño en la resistencia a la corrosión de aceros inoxidables austeníticos. Tesis doctoral. Departamento de ciencias de los materiales e ingeniería metalúrgica. Facultad de ciencias químicas. Universidad Complutense de Madrid.
- Casen, S. D; L. A. Marto; M. M. Medina; R. E. Romero; A. Torres Bugeau y D. Pérez. 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).
- Codex Alimentarius. 2010.** CAC/GL 40-1993- Directrices sobre buenas prácticas de laboratorio en el análisis de residuos de plaguicidas. Disponible en http://www.codexalimentarius.org/download/standards/378/cxg_040s.pdf (consultado en noviembre 26, 2015).
- Di Rienzo J. A.; F. Casanoves, M. G. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C.W. Robledo. 2012.** InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Feijóo, E.; M. A. Golato; F. J. Franck Colombres; D. Paz y G. J. Cárdenas. 2015.** Características energéticas de los residuos agrícolas de la cosecha en verde de la caña de azúcar. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán (RIAT) 92 (2): 23-32.
- Fungaro, D. A. and T. V. S. Reis. 2014.** Use of sugarcane straw ash for zeolite synthesis. International Journal of Energy and Environment. Volumen 5(5): 559-566.
- Gehlawat, J. K. 1994.** An analysis of a bagasse-fired boiler. Papers for the presentation at "The ISSCT combined factory / energy workshop on efficient production & utilization of steam in sugar factories". Publicado por The sugar Technologists' association of India: 79-87.
- Golato, M. A.; E. A. Feijóo; F. J. Franck Colombres; D. Paz y G. J. Cárdenas. 2015.** Aprovechamiento de los residuos agrícolas de la cosecha de la caña de azúcar (RAC) como combustible alternativo para calderas de vapor bagaceras. Revista industrial y agrícola de Tucumán (RIAT). En prensa.
- Hassauani, S. J.; M. R. L. Verde Leal and I. Carvalho Macedo (2005).** Biomass power generation Sugar cane bagasse and trash. 1º Edición- Piracicaba, Brasil. Editorial PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento).
- Jenkins, B. M.; L.L. Baxter; T. R. Miles Jr. and T. R. Miles. 1998.** Combustion properties of biomass. Fuel Processing Technology 54: 17-46.
- Kirkby, E. A. y V. Römheld. 2007.** Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. Informaciones Agronómicas 68: 13.
- Melissari, B. 2012.** Comportamiento de Cenizas y su Impacto en Sistemas de Combustión de Biomasa. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica (10): 69-82.
- Menéndez, J. E. y J. A. Hilbert. 2013.** Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía. INTA. Informes técnicos bioenergía 2013, Año 2, (4): 48.
- Nogués, F. S; D. García Galindo y A. Rezeau. 2010.** Energías Renovables. Energía de la Biomasa. Volumen 1. Prensa Universitaria de Zaragoza. España.
- Núñez Camargo, D. W. 2012.** Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles. Tecnura 16 (34): 142-156.
- Ostengo, S.; J. V. Díaz; M. A. Espinosa; E. R. Chavanne;**

- D. D. Costilla y M. L. Cuenya. 2015.** Relevamiento de la distribución de variedades y otras tecnologías aplicadas en el cultivo de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán: campaña 2013-2014. Gacetilla Agroindustrial 78: 20.
- Otero Huerta, E. 1997.** Corrosión y degradación de materiales. Editorial Síntesis.
- Peña Ballesteros, D. Y.; H. Estupiñán Durán; A. Cáceres y N. Camargo. 2013.** Corrosión a alta temperatura de un acero 2.25Cr-1Mo en contacto con una mezcla de K_2SO_4 -NaCl. Informador Técnico (Colombia). 77 (2): 147-156.
- Riedl, R.; J. Dahl; I. Obernberger and M. Narodoslawsky. 1999.** Corrosion in fire tube boilers of biomass combustion plants. In: Proceedings of the China International Corrosion Control Conference '99, paper N° 90129. China Chemical Anticorrosion Technology Association (CCATA) (Ed.), Beijing, China, pp. 5.
- Singh, V. K.; A. K. Shukla, M. S. Gill; S. K. Sharma and K. N. Tiwari. 2008.** Improving Sugarcane Productivity through Balanced Nutrition with Potassium, Sulphur, and Magnesium. Better Crops - India: 12-14.
- Standard Methods For examination of water and wastewater. 2012.** 4500-Cl- B. Argentometric Method. 22° edition. Editorial American Public Health Association. USA.
- Torres Manríquez, M. y R. del C. Miranda Guardiola. 2007.** Estudio cinético por termogravimetría del bagazo de caña de azúcar. IX Congreso Regional QFB. Mayo 2-4, 2007. Monterrey, N. L., pp. 7.
- Woytiuk, K. 2006.** Sugar Cane Trash Processing for Heat and Power Production. Master's Thesis. Department of applied physics and mechanical engineering. Lulea University of technology, Lulea, Switzerland.
- Zuccardi, R. B. y G. S. Fadda. 1985.** Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. Miscelánea N° 86. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán, pp. 25.