EEAOC RIAT
Revista Industrial y Agrícola de Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea 1851-3018

Tomo 104 (1): 21-24; 2027

EEAOC
ESTACION EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

Av. William Cross 3150
T4101XAC - Las Talitas.
Tucumán, Argentina.

Trabajo ya publicado

Caracterización energética de residuo de tabaco de la provincia de Tucumán para ser usado como combustible en calderas bagaceras

Cynthia Gutierrez, Gimena Zamora Rueda, Gabriela Armella, Benjamín Cantos, H. César Zalazar y Enrique Feijoo.

Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Las Talitas, Tucumán, Argentina. Email: cgutierrez@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El presente estudio evalúa el potencial energético de los tallos de tabaco generados en la provincia de Tucumán durante la campaña 2024/2025 y analiza su posible uso como combustible en calderas bagaceras de la industria azucarera. Se evaluaron ocho muestras mediante la determinación de la distribución del tamaño de partículas, el análisis inmediato, el poder calorífico, la composición elemental, el contenido de cloro, azufre y sílice total. Los valores promedio obtenidos fueron: diámetro de partícula de 1,21 mm; sólidos volátiles de 71,79 %; cenizas de 11,72 %; carbono fijo de 16,48 %; poder calorífico superior de 15.840 kJ/kg en base seca; y poder calorífico inferior de 11.505 kJ/kg en base húmeda. Los contenidos promedio de cloro, azufre y sílice total fueron de 0,36 %, 0,37 % y 1,01 %, respectivamente. A partir de la superficie cultivada, de la cantidad producida y masas estimadas de tallos generados, se calculó una disponibilidad potencial de este residuo de aproximadamente 14.399 toneladas anuales.

Palabras clave: campaña tabaco, análisis inmediato.

ABSTRACT

Energy characterization of tobacco stalks from Tucumán province, Argentina, for use as fuel in bagasse-fired boilers

This study evaluates the energy potential of tobacco stalks generated in the province of Tucumán, Argentina, during the 2024/2025 growing season and assesses their suitability as a fuel in bagasse-fired boilers in the sugar industry. Eight samples were evaluated by determining particle size distribution, proximate analysis, calorific value, elemental composition, and total chlorine, sulfur, and silica contents. The average values obtained were as follows: a mean particle diameter of 1.21 mm, 71.79% volatile matter, 11.72% ash, 16.48% fixed carbon, a higher heating value (HHV) of 15,840 kJ/kg on a dry basis, and a lower heating value (LHV) of 11,505 kJ/kg on a wet basis. The average chlorine, sulfur, and total silica contents were 0.36%, 0.37%, and 1.01%, respectively. Based on the cultivated area, production volume, and estimated mass of stalks generated, the potential availability of this residue was estimated at approximately 14,399 tonnes per year.

Key words: tobacco season, immediate analysis.

Trabajo presentado en la XXIV Reunión Técnica Nacional de la Sociedad Argentina de Técnicos de la Caña de Azúcar (SATCA), 19 y 20 de marzo de 2026, Tucumán, Argentina.

Fecha de recepción: 23/10/2026

Fecha de aceptación: 03/11/2026

INTRODUCCIÓN

La matriz energética argentina continúa dominada por los combustibles fósiles, que representan cerca del 83 % de la oferta total de energía primaria, lo que evidencia una fuerte dependencia del petróleo, el gas y el carbón mineral, en contraste con las metas de diversificación y descarbonización impulsadas a nivel nacional e internacional (Aneise *et al.*, 2024; Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto, 2024; Green Economy Tracker, 2025).

En provincias con una fuerte base agroindustrial, como Tucumán, la biomasa cumple un rol central en la matriz energética, particularmente en la industria azucarera, pilar histórico de la economía provincial. Este tipo de industria utiliza la biomasa sólida para la generación de energía mediante calderas bagaceras, empleando principalmente bagazo de caña y, en períodos de interzafra o ante limitaciones de disponibilidad, combustibles complementarios como el gas natural, el RAC (residuo agrícola de la cosecha) o chip de madera. En este marco, la diversificación de las fuentes de biomasa destinadas a estas calderas se presenta como una oportunidad estratégica para fortalecer la seguridad del suministro energético, reducir costos operativos y disminuir la presión sobre los recursos forestales y fósiles, mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas de otras cadenas productivas regionales, técnica y ambientalmente viables (INTA, 2021a; EEAOC, 2022, 2023; Secretaría de Energía de la Nación, 2024; FAO, 2025).

Dentro de este marco, el cultivo de tabaco genera una cantidad significativa de residuos lignocelulósicos, especialmente los tallos descartados luego de la cosecha, que pueden ser valorizados con fines energéticos. Estos tallos presentan características físicas y energéticas similares a las del bagazo de caña de azúcar y al chip de madera, lo que los convierte en una opción potencialmente viable para su utilización como combustible sólido en calderas bagaceras, ya sea como sustituto parcial o como complemento del RAC o del chip de madera actualmente utilizados. Su incorporación permitiría, además, articular dos cadenas agroindustriales relevantes de la provincia, mejorando la integración entre los sectores productivos locales y optimizando el uso de los recursos disponibles (FAO, 2020; INTA, 2021b).

En la provincia de Tucumán, la superficie cultivada con tabaco durante la campaña 2024/2025 fue estimada en 3.850 hectáreas (Scandaliaris *et al.*, 2025). A partir de una densidad promedio de 20.000 tallos por hectárea y un peso medio de 0,187 kg por tallo, se estima una disponibilidad anual cercana a las 14.399 toneladas de residuos, correspondientes a biomasa potencialmente apta para su aprovechamiento energético (Gutierrez *et al.*, 2024). Este volumen adquiere especial relevancia al analizar su posible incorporación en sistemas de generación energética ya existentes, como las calderas bagaceras de la industria azucarera tucumana, contribuyendo a la sustitución de combustibles convencionales y al fortalecimiento de la matriz energética provincial (Gutierrez *et al.*, 2024).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de aprovechamiento energético de los tallos de tabaco mediante la caracterización integral de esta biomasa y la comparación de sus propiedades con las correspondientes a la campaña anterior y a otras biomasas utilizadas como combustibles en calderas industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de caracterización energética se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayos y Mediciones Industriales (LEMI), que forma parte de la Sección de Ingeniería y Proyectos Agroindustriales de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Los tallos de tabaco evaluados fueron picados en el campo y luego trasladados al LEMI, donde se dejaron secar de manera natural. Durante un período de ocho meses, se recolectaron mensualmente una muestra de tallos de tabaco, a las cuales se les realizaron las siguientes determinaciones:

La distribución del tamaño de partículas según la metodología de la norma ASTM C 136-01.

Contenido de humedad (W), se utilizó la norma ASTM D 5142-02 modificada. Posteriormente, las muestras secas fueron trituradas en un molino hasta obtener una granulometría de 1 mm.

Se determinaron los contenidos de cenizas (CZ), sólidos volátiles (SV) y carbono fijo (CF) en base seca (b.s.), mediante un analizador termogravimétrico (TGA), marca LECO, modelo TGA701, ajustado y calibrado específicamente para biomasa. Esta metodología sigue el procedimiento de la norma ASTM D 5142-02, modificada.

Se determinó el poder calorífico superior (PCS) en b.s. empleando una Bomba Calorimétrica marca Parr, modelo 6000, según metodología indicada en la norma ASTM D 2015-96.

El cálculo del poder calorífico inferior (PCI) en base húmeda (b.h.), se determinó utilizando la siguiente Ecuación:

Ecuación 1

$$PCI = PCS\,x\,(1\text{-}W) - 2442\,x\,[9\,x\,H\,x\,(1 - CZ)\,x\,(1 - W) + W]$$

Dónde:
PCI: poder calorífico inferior en base húmeda [KJ/Kg]
PCS: poder calorífico superior [KJ/Kg]
H: contenido de hidrogeno, en composición centesimal.
W: contenido de humedad, en composición centesimal.
CZ: contenido de cenizas, en composición centesimal.

La determinación de cloro (Cl) se llevó a cabo siguiendo la metodología establecida en la norma ASTM E 776-87 modificada (Gutierrez *et al.*, 2016), mientras que la de azufre (S) se realizó conforme a la norma ASTM D 3177-02 modificada (Mistretta *et al.*, 2019).

Para determinar el contenido de sílice total (SiO_2), se utilizó el método gravimétrico descrito en la norma ASTM E 887-88 (Gutierrez *et al.*, 2018).

En cuanto al análisis de composición elemental, se siguió la metodología basada en la norma ASTM D 5373-08. Para este análisis, se empleó un equipo de composición elemental de la marca LECO, modelo 628, que permite determinar el contenido de hidrógeno (H), carbono (C) y nitrógeno (N) en matrices orgánicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se presenta la curva de secado natural de los tallos de tabaco que fueron procesados y almacenados en la EEAOC.

A continuación, en la tabla 1, se muestran los valores promedio del diámetro de partícula, el análisis inmediato en b.s. y la caracterización energética de los tallos de tabaco. El PCS está en b.s. y el PCI en b.h. También se incluye el análisis estadístico realizado para el lote de muestras ensayadas, junto con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

La Tabla 2 presenta los resultados de la composición elemental, incluyendo los contenidos de Cl, S y SiO_2 en las muestras de tallos de tabaco que se analizaron. También se incluye el análisis estadístico, junto con sus respectivos coeficientes de variación % CV.

En la Tabla 3, podemos ver una comparación de los valores promedio del análisis inmediato y de la caracterización energética de los tallos de tabaco para las campañas 2023/2024 y 2024/2025 (Gutierrez *et al.*, 2024); del bagazo, del RAC y del chip de tabaco (Zamora *et al.*, 2024; Zamora *et al.*, 2026).

En la Tabla 4 se observa una comparación de los valores promedio de la composición elemental, el contenido de Cl, el de S y el de SiO_2, de los tallos de tabaco para ambas campañas.

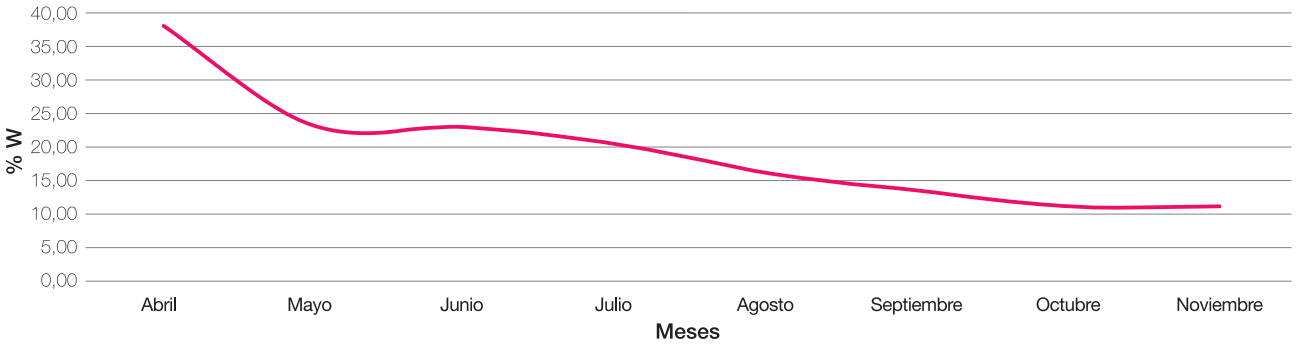

Figura 1. Curva de secado de tallos de Tabaco de la campaña 2024/2025 en Tucumán.

Tabla 1. Valores promedio del diámetro de partícula, análisis inmediato y caracterización energética, determinados en los tallos de tabaco estudiados.

	W (%) b.s.	Dp (mm)	SV (%) b.s.	CZ (%) b.s.	CF (%) b.s.	PCS b.s. [kJ/kg]	PCI b.h. [kJ/kg]
Promedio	19,47	1,21	71,79	11,72	16,48	15.840	11.505
Rango	[11,18 - 37,64]	[1,11 - 1,30]	[68,14 - 73,70]	[8,59 - 15,98]	[14,93 - 18,98]	[15.106 – 16.907]	[10.540 – 12.814]
%CV	0,45	0,11	0,03	0,16	0,08	0,04	0,10

Tabla 2. Valores promedio del Análisis elemental, el contenido de Cl, S y de SiO_2, determinados en los tallos de tabaco estudiados.

	Cl (%) b.s.	S (%) b.s.	N (%) b.s.	C (%) b.s.	H (%) b.s.	SiO_2 (%) b.s.
Promedio	0,36	0,37	2,19	39,32	6,28	1,01
Rango	[0,49 - 0,52]	[0,15 - 0,18]	[2,050 - 2,425]	[38,530 - 40,781]	[5,937 - 6,519]	[0,80 - 1,19]
%CV	0,24	0,53	0,08	0,03	0,04	0,19

Tabla 3. Valores promedio del análisis inmediato y caracterización energética, para los tallos de tabaco en ambas campañas.

	W (%) b.s.	SV (%) b.s.	CZ (%) b.s.	CF (%) b.s.	PCS b.s. [kJ/kg]	PCI b.h. [kJ/kg]
Tallos de tabaco 2023/2024	36,39	73,23	9,11	17,66	17.619	9.579
Tallos de tabaco 2024/2025	19,47	71,79	11,72	16,48	15.840	11.505
Bagazo	51,58	77,21	8,99	16,65	17.584	6.538
RAC	12,86	70,64	14,40	17,00	16.668	12.726
Chip de madera	15,37	76,00	2,9	20.2	19.420	18.230

Tabla 4. Valores promedio del Análisis elemental, del contenido de Cl, S y del SiO_2, para las dos campañas.

	Cl (%) b.s.	S (%) b.s.	N (%) b.s.	C (%) b.s.	H (%) b.s.	SiO_2 (%) b.s.
Tallos de tabaco 2023/2024	0,51	0,17	2,26	43,05	6,19	2,50
Tallos de tabaco 2024/2025	0,36	0,37	2,19	39,32	6,28	1,01
Bagazo	0,14	0,16	0,40	43,90	5,80	54,25
RAC	0,18	0,25	0,69	43,46	5,72	57,66
Chip de madera	0,08	0,05	0.40	41,00	6,00	-

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que los tallos de tabaco de la campaña 2024/2025 en la provincia de Tucumán son un residuo agroindustrial con un gran potencial para ser aprovechado energéticamente. Desde la perspectiva energética, los valores de PCS que se han obtenido son comparables a los de otras biomasas agrícolas que se utilizan en calderas, lo que sugiere que el residuo de tabaco puede ser una opción viable como biocombustible sólido. Además, la baja variabilidad de los parámetros analizados indica que su composición es relativamente homogénea, lo que favorece su uso continuo en sistemas industriales.

Los contenidos de %CZ, %Cl y %S medidos, se mantienen dentro de rangos aceptables. También, el bajo valor % SiO_2 ayuda a reducir el riesgo de incrustaciones severas, mejorando las condiciones operativas en comparación con otras biomasas agrícolas. En comparación con la campaña anterior, los tallos de tabaco de 2024/2025 presentan diferencias significativas en el contenido de % SiO_2. Estos cambios podrían deberse a que los tallos fueron procesados previamente antes de su almacenamiento. Por lo tanto, los tallos de tabaco se consolidan como una alternativa energética renovable que es técnicamente viable y tiene el potencial de complementar el uso de combustibles fósiles en el sector agroindustrial de la región.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Aneise, A. J., Möhle, E. y Schteingart, D. 2024. Transición energética. Argendata. Fundar. Disponible en: https://argendata.fund.ar/categorias/ambiente/

EEAOC. 2022. La industria azucarera tucumana: producción, energía y sustentabilidad. Tucumán, Argentina.

EEAOC. 2023. Uso de biomasa complementaria en calderas bagaceras de ingenios azucareros de Tucumán. Tucumán, Argentina.

FAO. 2020. Energía derivada de biomasa: Situación y perspectivas en la Argentina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: https://www.fao.org/argentina/publicaciones

FAO. 2025. Sustainable bioenergy from agriculture (bioenergía sustentable desde la agricultura). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: https://www.fao.org/energy/areas-of-work/sustainable-bioenergy-from-agriculture/en

Green Economy Tracker. 2025. Argentina: Energy profile and transition outlook (Actualización 2025). Green Economy Coalition. Disponible en: https://greeneconomytracker.org/country/argentina

Gutierrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Coronel, M.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2016. Contenido de cloro total en residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán. RIAT. Tomo 93 (2): 15-19. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v93n2/v93n2a04.pdf. Consultado: 15 de enero 2022.

Gutierrez, C. E.; Mistretta, G.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F. L.; Golato, M. A.; Juárez, G.; Ruiz, M.; Paz, D. y Cárdenas, G. J. 2018. Contenido de sílice total en cenizas de residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) en Tucumán, Argentina. RIAT 95 (1): 21-26.

Gutierrez, C. E.; Zamora Rueda, G.; Armella, G.; Morales, W. D.; Golato, M. A.; Feijóo, E. y Ruiz, M. 2024. Caracterización energética de residuo de tabaco de la provincia de Tucumán – Argentina para biocombustible. XXIII Jornada Nacional de Técnicos de la Caña de Azúcar.

INTA. 2021a. Residuos agrícolas y agroindustriales con potencial bioenergético. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: https://www.inta.gob.ar/temas/bioenergia

INTA. 2021b. Bioenergía a partir de biomasa agroindustrial: aportes del sector azucarero. Buenos Aires, Argentina.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca & Secretaría de Energía. 2025. PROBIOMASA: Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa. Gobierno de la República Argentina. Disponible en: https://www.probiomasa.gob.ar/sitio/es/institucional.php

Ministerio de Relaciones Exteriores, Comercio Internacional y Culto. 2024. Producción energética argentina en la transición mundial hacia las energías limpias. : https://cancilleria.gob.ar/es/cei/publicaciones/produccion-energetica-argentina-en-la-transicion-mundial-hacia-las-energias

Mistretta, G.; Gutierrez, C.; Zamora Rueda, G.; Peralta, F.; Golato, M. A.; Paz, D.; Cárdenas, G. y Ruiz, M. 2019. Contenido de azufre total del residuo agrícola de la cosecha de caña de azúcar de Tucumán, Argentina. RIAT. Tomo 96 (1): 49-54. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v96n1/v96n1a01.pdf. Consultado: 15 de enero 2022.

Scandaliaris, P.; Fandos, C.; Carreras Baldrés, J. y Villares, A. 2025. Estimación satelital de la superficie cultivada con tabaco en la provincia de Tucumán en la campaña 2024/2025 y su comparación con campañas precedentes. Reporte Agroindustrial EEAOC. Nº 338, ISSN 2346-9102. Disponible en: https://www.eeaoc.org.ar/estimacion-satelital-de-la-superficie-cultivada-con-tabaco-en-la-provincia-de-tucuman-en-la-campana-2024-2025-y-su-comparacion-con-campanas-precedentes/

Secretaría de Energía de la Nación. 2024. Balance energético nacional y participación de la biomasa. Buenos Aires, Argentina.

Zamora Rueda, G.; Golato, M.; Machado, W. y Paz, D. 2024. Caracterización y clasificación del bagazo y RAC de caña de azúcar, según índices de comportamiento a partir de su composición química elemental. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. Tomo 101 (1):77-74. ISSN 0370-5404.

Zamora Rueda G. del H., Gutierrez C., Armella, G., Golato M. A., Feijóo, E. A. y Ruiz, M. 2026. Evaluación del potencial de conversión térmica de biomasas agroindustriales de Tucumán. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. Tomo 103 (2): 1-9. ISSN 0370-5404.