EEAOC RIAT
Revista Industrial y Agrícola de Tucumán

ISSN 0370-5404

En línea 1851-3018

Tomo 104 (1): 10-12; 2027

EEAOC
ESTACION EXPERIMENTAL AGROINDUSTRIAL OBISPO COLOMBRES
Tucumán | Argentina

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

Trabajo ya publicado

Análisis termogravimétrico del bagazo de caña de azúcar de Tucumán para la estimación de rangos de degradación de hemicelulosa, celulosa y lignina

Zamora Rueda, Gimena del Huerto*; Gutierrez, Cynthia*; Armella, Gabriela*; Golato, Marcos Antonio*; Franck Colombres, Federico* y Ruiz, Marcelo**

*Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales. **Director Asistente de Área. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Av. William Cross 3150, Las Talitas, Tucumán, Argentina. Email: gzamora@eeaoc.org.ar

RESUMEN

El bagazo de caña de azúcar constituye una biomasa lignocelulósica de interés energético, cuyo comportamiento térmico resulta relevante para la optimización de procesos de conversión termoquímica. El objetivo de este trabajo fue analizar la degradación térmica del bagazo de caña de azúcar de Tucumán mediante termogravimetría, evaluando el efecto de diferentes velocidades de calentamiento en atmósfera inerte. Se analizaron 15 muestras de bagazo correspondientes a la zafra 2025, previamente secadas y molidas. Los ensayos se realizaron en atmósfera de nitrógeno, con rampas de calentamiento de 5, 10 y 20 °C/min, entre 25 °C y 950 °C. A partir de las curvas TG y de su primera derivada (DTG) se identificaron las principales etapas de degradación. Los rangos estimados fueron de 200 °C a 300 °C para hemicelulosa, de 310 °C a 410 °C para celulosa y de 400 °C a 650 °C para lignina. El incremento de la velocidad de calentamiento produjo un desplazamiento de los máximos de degradación hacia temperaturas superiores. Las rampas más lentas permitieron una mejor resolución de las etapas térmicas. Los resultados confirman la utilidad del análisis termogravimétrico para caracterizar el comportamiento térmico del bagazo y aportar información para el diseño y la optimización de procesos termoquímicos.

Palabras clave: pirólisis, estabilidad térmica, lignocelulosa, velocidad de calentamiento, desvolatilización.

ABSTRACT

Thermogravimetric analysis of sugarcane bagasse from Tucumán for the estimation of degradation ranges of hemicellulose, cellulose and lignin

Sugarcane bagasse is a lignocellulosic biomass of energy interest whose thermal behavior is relevant to the optimization of thermochemical conversion processes. The objective of this study was to analyze the thermal degradation of sugarcane bagasse from Tucumán by thermogravimetry, evaluating the effect of different heating rates under an inert atmosphere. Fifteen bagasse samples from the 2025 harvest season were analyzed after drying and grinding. Tests were carried out under a nitrogen atmosphere at heating rates of 5, 10 and 20 °C/min, from 25 °C to 950 °C. The main degradation stages were identified from TG curves and their first derivative (DTG). Estimated temperature ranges were 200 °C to 300 °C for hemicellulose, 310 °C to 410 °C for cellulose and 400 °C to 650 °C for lignin. Increasing the heating rate shifted the degradation maxima toward higher temperatures. Lower heating rates provided better resolution of the thermal degradation stages. These results confirm the usefulness of thermogravimetric analysis for characterizing the thermal behavior of bagasse and providing information for the design and optimization of thermochemical processes.

Key words: pyrolysis, thermal stability, lignocellulose, heating rate, devolatilization.

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: 14/10/2026

Fecha de aceptación: 27/10/2026

INTRODUCCIÓN

El bagazo de caña de azúcar es un subproducto fibroso resultante del proceso de molienda, que está compuesto principalmente por polisacáridos lignocelulósicos como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Se utiliza principalmente en las industrias azucareras como combustible para calderas de vapor. Su caracterización física, química, elemental, energética y térmica es esencial para optimizar su uso mediante tecnologías de combustión y pirólisis (Zamora Rueda *et al.*, 2023, 2024).

El análisis termogravimétrico (TGA) permite estudiar la variación de masa frente a la temperatura y al tiempo, bajo atmósferas inertes, identificando etapas de descomposición y rangos específicos de degradación de cada componente estructural (Silva *et al.*, 2023). La atmósfera inerte de nitrógeno es especialmente útil para procesos de pirólisis, ya que evita reacciones oxidativas y permite evaluar la estabilidad térmica real de la biomasa. Estudios previos indican que la hemicelulosa se degrada entre 150–300 °C, la celulosa entre 300–410 °C y la lignina en un rango más amplio (400–800°C) (Quinteros Vaca, 2020; Elkhalifa *et al.*, 2025). En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue analizar el comportamiento de degradación térmica del bagazo de caña de azúcar de Tucumán mediante termogravimetría, evaluando las curvas de degradación a diferentes rampas de calentamiento en atmósfera inerte, con el fin de estimar los rangos de temperatura asociados a la hemicelulosa, celulosa y lignina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras: se analizaron 15 muestras de bagazo de caña de azúcar provenientes de la zafra 2025 de diferentes ingenios de Tucumán. Las muestras fueron recolectadas durante el período de molienda y posteriormente homogeneizadas mediante submuestreo para obtener muestras representativas. Se procedió al secado en una estufa, marca ORL, a 105 °C hasta peso constante y se trituraron en un molino, marca Fristech, con una malla de 1 mm.

Análisis termogravimétrico: se procesaron 2 gramos de las muestras de bagazo secas y molidas en un equipo automatizado, marca LECO, en atmósfera inerte (N_2). Se utilizaron rampas de calentamiento de 5, 10 y 20 °C/min, en un rango de temperatura de 25°C a 950°C. El análisis termogravimétrico se realizó utilizando la metodología ASTM D7582-12. Para el procesamiento de los datos se utilizó el software estadístico Infostat, en el cual se realizó la curva de degradación termogravimétrica expresada en porcentaje (TG [%]) en función de la temperatura [°C].

Estimación de parámetros estructurales de bagazo: para la estimación de la hemicelulosa, celulosa y lignina se identificaron los picos principales resultantes de la primera derivada, procesados en Infostat (versión 2020) y se estimaron los rangos de temperaturas asociadas a cada fracción. Se graficó la curva de la función derivada de las pérdidas de masa porcentual en el tiempo (DTG [%/min]) en función de la temperatura [°C].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de degradación del bagazo de caña de azúcar: en la Figura 1 se muestran las curvas promedio de degradación obtenidas para las muestras de bagazo, analizadas en atmósfera de nitrógeno. En dicha figura se representa el porcentaje de masa remanente (TG [%]) en función de la temperatura [°C], para las diferentes rampas de calentamiento evaluadas. Bajo estas condiciones se identificaron tres regiones de degradación bien definidas. La primera corresponde a la etapa de deshidratación, entre 50 °C a 110 °C. La segunda, asociada a la desvolatilización de los componentes estructurales, se subdivide en dos intervalos: hemicelulosa (180 °C a 300 °C) y celulosa (300 °C a 400 °C). Finalmente, se observa una tercera etapa más amplia, a temperaturas superiores a 450 °C, atribuida a la lignina y a los procesos de carbonización. Estas etapas coinciden con lo mencionado por Silva et al. (2023). Desde el punto de vista de la rampa de calentamiento, se observó un desplazamiento del punto de inflexión hacia temperaturas más altas al aumentar la velocidad de calentamiento. Para R = 5 °C/min se registró un valor de temperatura de 280 °C, mientras que para R = 10 °C/min y R = 20 °C/min los valores fueron 310 °C y 380 °C, respectivamente.

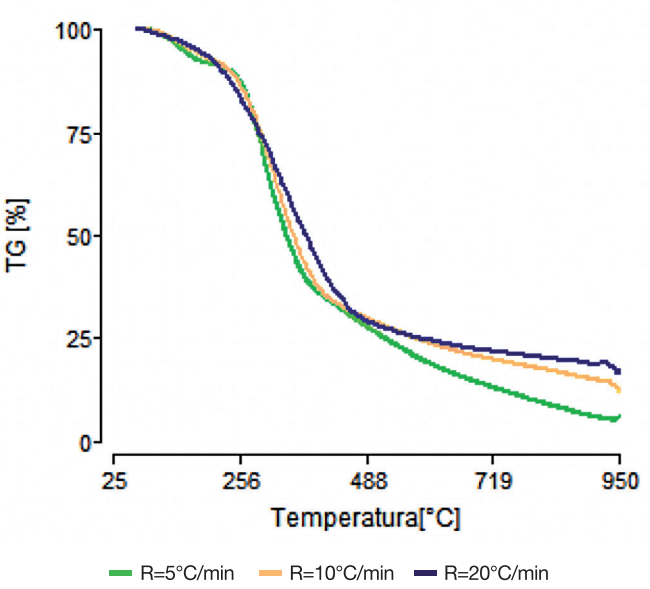


Figura 1. Curva de descomposición de bagazo, a diferentes rampas de calentamiento, en atmósfera de nitrógeno.

Estimación de parámetros estructurales de bagazo: la Figura 2 muestra las curvas promedio de la DTG [%/min] en función de la temperatura [°C] para las muestras de bagazo analizadas, en atmósfera de nitrógeno y para diferentes rampas de calentamiento (5, 10 y 20 °C/min). Se observó que a medida que aumenta la velocidad de calentamiento, los picos son mayores y más pronunciados, acompañado por el desplazamiento de los máximos a mayores temperaturas. Esto pone de manifiesto que para una rampa de calentamiento más lenta se puede apreciar con mejor resolución cada etapa de degradación térmica, permitiendo así identificar de manera más

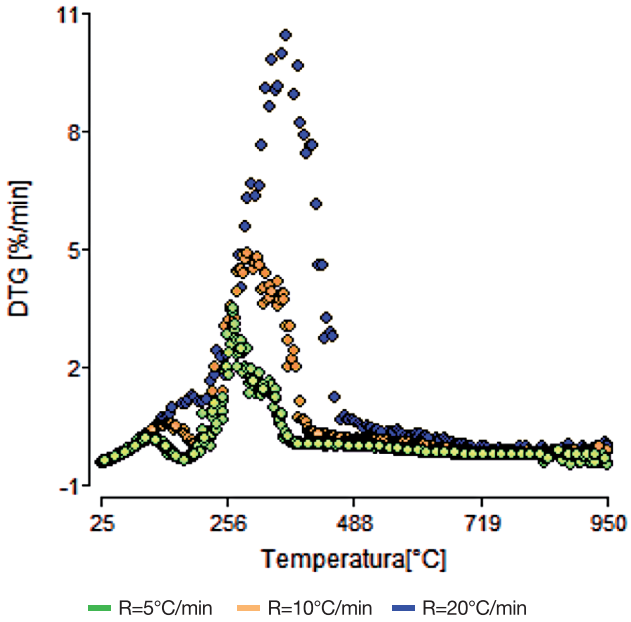


Figura 2. Curva DTG [%/min] en función de la temperatura [°C] de las muestras de bagazo, a diferentes rampas de calentamiento, en atmósfera de nitrógeno.

precisa los parámetros estructurales del bagazo.

Asimismo, en la Tabla 1, se muestran los resultados de la estimación de los rangos de temperatura de la hemicelulosa, celulosa y lignina. Estos valores coinciden con Quinteros Vaca (2020) y Elkhalifa *et al.* (2025).

Tabla 1. Resultados de las estimaciones de los rangos de temperatura en [°C] de la hemicelulosa, celulosa y lignina para las muestras de bagazo en atmósfera de nitrógeno a diferentes rampas de calentamiento.

Parámetros estructurales	Rango de temperatura [°C]		
	5°C/min	10°C/min	20°C/min
Hemicelulosa	200-270	210-280	230-300
Celulosa	310-370	330-390	350-410
Lignina	400-600	410-620	420-650

CONCLUSIONES

El análisis termogravimétrico de muestras de bagazo de caña de azúcar de Tucumán en atmósfera de nitrógeno permitió identificar las diferentes etapas de degradación características de la biomasa lignocelulósica y estimar los rangos de temperatura asociados a hemicelulosa (200–300 °C), celulosa (310–410 °C) y lignina (400–650 °C). Las diferentes rampas de calentamiento utilizadas para este análisis evidenciaron un desplazamiento de los picos hacia mayores temperaturas a medida que aumentaba la velocidad de calentamiento, siendo las rampas más lentas las más adecuadas para definir con mayor exactitud cada fracción estructural. Los resultados obtenidos fueron consistentes con la bibliografía y confirman la utilidad del TGA para caracterizar el comportamiento térmico del bagazo. Asimismo, se observó que la velocidad de calentamiento influye significativamente en la posición de los picos de degradación térmica, generando desplazamientos hacia temperaturas mayores a medida que aumenta la rampa de calentamiento.

Como líneas futuras, se propone profundizar el análisis mediante el estudio en otras atmósferas y la determinación de los contenidos porcentuales de las fracciones estructurales. Además, se proyecta estudiar la cinética para determinar los parámetros de reacción para cada fracción estructural y así favorecer el diseño y optimización de los procesos termoquímicos de conversión del bagazo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Elkhalifa S.; P. Parthasarathy; H. R. Mackey; T. Al Ansari; O. Elhassan; S. Mansour and G. McKay. 2025. Biochar development from thermal TGA studies of individual food waste vegetables and their blended systems. Biomass Conversion and Biorefinery 15: 29965–29982.

Quinteros Vaca, O.N. 2020. Caracterización del bagazo de caña de azúcar de variedades del ingenio azucarero Tababuela para bioenergía. Tesis de grado Ingeniero en Energías Renovables. Universidad Técnica Del Norte Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Carrera de Ingeniería en Energías Renovables. Ibarra- Ecuador.

Silva, J.; S. Teixeira and J. Teixeira. 2023. A review of biomass thermal analysis, kinetics and product distribution for combustion modeling: from the micro to macro perspective. Energies 16: 6705.

Zamora Rueda, G. H.; M. G. Mistretta; C. E. Gutiérrez; M. A. Golato; D. Paz y M. Ruiz. 2023. Caracterización energética de bagazo de caña de azúcar en Tucumán, Argentina. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 100 (1): 47-53.

Zamora Rueda, G. H.; M. A. Golato; W. D. Machado y D. Paz. 2024. Caracterización y clasificación del bagazo y RAC de caña de azúcar, según índices de comportamiento a partir de su composición química elemental. Rev. Ind. y Agríc. de Tucumán 101 (1): 63-70.