

Optimización preliminar del peletizado de sorgo lignocelulósico para generación de gas de síntesis

del V. Bernard, Mariana; Goirán, Andres R; Quicchi, Agostina L; Ferreyra, Diego M

Mariana del V. Bernard

mbernard@sanfrancisco.utn.edu.ar

CIDEME, Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional San Francisco / Departamento de
Ingeniería Electromecánica. Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina

Andres R Goirán

Departamento de Ingeniería Electromecánica.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional
San Francisco, Argentina

Agostina L Quicchi

CIDEME, Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional San Francisco, Argentina

Diego M Ferreyra

CIDEME, Universidad Tecnológica Nacional,
Facultad Regional San Francisco / Departamento de
Ingeniería Electromecánica. Universidad Tecnológica
Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina

Ingenio Tecnológico

Universidad Tecnológica Nacional, Argentina

ISSN-e: 2618-4931

Periodicidad: Frecuencia continua

vol. 4, e029, 2022

ingenio@frlp.utn.edu.ar

URL: <http://portal.amelica.org/amei/journal/266/2663014004/>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Resumen: La generación de energía en Argentina está sustentada principalmente por combustibles fósiles. Se vienen realizando diversas acciones para generar una transición hacia una generación distribuida, sostenible y amigable con el entorno. Distintos programas de financiamiento fomentan la instalación de pequeñas plantas de generación de energía térmica con biomasa. El crecimiento de esta tecnología depende en gran medida de la capacidad de generar combustibles con buena capacidad térmica, así como de la disponibilidad y aprovechamiento de los recursos. En Argentina, existen zonas de baja producción agrícola, que resultan aptas para el desarrollo de sorgo lignocelulósico. La posibilidad de almacenar y disponer del sorgo como combustible, requiere de un proceso de acondicionamiento que involucra picado, secado y peletizado. El objetivo de este trabajo fue optimizar el proceso de acondicionamiento, así como evaluar la reducción de energía en el proceso de secado en una instalación piloto. El proceso de extrusión requirió la modificación mecánica de la extrusora a fin de ajustar los huelgos al material procesado. Las muestras de sorgo presentaron dificultades para el acondicionamiento, empastando tanto la extrusora como la peletizadora, mientras que las muestras híbridas fluyeron mejor y se obtuvieron pélets con buenas características mecánicas, aptos para el almacenamiento y gasificación.

Palabras clave: sorgo lignocelulósico, biomasa, energía, generación distribuida, peletización.

Abstract: Energy generation in Argentina mostly relies on fossil fuels. Several actions are being taken for a transition toward a distributed, sustainable and environmentally friendly generation. Several funding programs promote the installation of small plants for the generation of thermal energy using biomass. The growth in this technology largely depends on the capacity to produce fuels with a high thermal capacity, as well as on the availability and use of the resources. In Argentina, there are areas with low agricultural production levels which are suitable for the development of lignocellulosic sorghum. The possibility of storing this sorghum and making use of it as a fuel requires a conditioning process that involves chopping, drying and pelleting. The aim of this work was to optimize the conditioning process, as well as to assess the energy reduction in the drying process in a pilot installation. The extrusion process required mechanical modifications to be performed on the extruder in order to adjust the gaps to the processed matrix. The

sorghum samples presented problems in conditioning, clogging both the extruder and the pelletizer, while the hybrid samples flowed better and pellets with good mechanical characteristics were obtained, suitable for storage and gasification

Keywords: lignocellulosic sorghum, biomass, energy, distributed generation, pelleting.

INTRODUCCIÓN

La energía es actualmente un recurso fundamental para el desarrollo de las sociedades. El acceso a la energía estable y asequible representa posibilidades de crecimiento social, erradicación de la pobreza y desarrollo comunitario. En 2019, 759 millones de personas no contaron con acceso a la electricidad (IEA et ál, 2021), número que viene reduciéndose año a año gracias al desarrollo de nuevas formas de generación de energía y de nuevas estrategias de distribución, impulsadas por la generación en pequeñas redes, procurando el autoabastecimiento y la independencia de la red interconectada de energía eléctrica. A raíz de estos impulsos de generación, diversos países han ido desarrollando un marco legal que involucre y respalde los sistemas de generación distribuida. Esta normativa se desarrolla más rápidamente que el desarrollo de las redes de electrificación (Energy Sector Management Assistance Program [ESMAP], 2020). De cara al 2030 el acceso a la electricidad a nivel mundial debió crecer a un ritmo de 0,9 % mensual. En los últimos años, entre 2017 y 2019, se registró un incremento del 0,74 %, con lo cual la distribución de energía es aún menor a la necesaria para alcanzar al 2030 el acceso equitativo a la energía (IEA et ál, 2021). América Latina y el caribe, Asia oriental y Asia sudoriental se están acercando al acceso universal, pero África subsahariana sigue rezagada, representando el 70 % del déficit mundial (World Bank and IEA, 2015). Además, el suministro continúa siendo inestable y poco asequible en algunos países. El planeta entero realiza esfuerzos de distintas índoles para sostener el desarrollo poblacional en materia energética. Sin embargo, el factor clave para alcanzarlo está en la transición de la generación, desarrollando fuentes de energía más limpias, más sostenibles y renovables y sistemas de distribución modernos y seguros.

La energía solar hidroeléctrica y la generación de biogás, lideran a nivel mundial la generación de energía en minirredes, lo que permitió que el número de usuarios a nivel global conectados a estas redes distribuidas se haya duplicado entre 2010 y 2019 (IEA et ál, 2021). Sin embargo la generación de base debe sostenerse, estabilizarse y distribuirse de manera uniforme, con lo cual, el desafío es promover la transición de las energías de base y la proliferación de micro y minirredes de autogeneración de energía. En este sentido, la energía eólica y la biomasa toman preponderancia dentro de las renovables, por la posibilidad de sostener generaciones a mayor escala que complementen y sustenten los sistemas actuales.

América Latina y el caribe, tiene un amplio potencial para el desarrollo de diversos tipos de energía renovable, sus extensos recursos solares, eólicos y la amplia y variada disponibilidad de biomasa, vuelve atractiva la inversión en este tipo de tecnologías. Durante el año 2019, América Latina incrementó un 43 % la inversión en energías renovables respecto del año anterior, siendo Paraguay, Costa Rica y Brasil aquellos países que superan el 80 % de la potencia instalada proveniente de fuentes renovables (Pérez Urdiales et ál, 2021). Sin embargo, las políticas energéticas deberán considerar un paquete de medidas fiscales complementarias que busquen alentar la sostenibilidad a mediano y largo plazo de estas inversiones, como la introducción de medidas que reduzcan el déficit fiscal, fijación de impuestos al carbono o reducción de subsidios a los combustibles fósiles (Pérez Urdiales et ál, 2021).

Estas condiciones se ven reflejadas también en Argentina, que viene incrementando su generación a partir de fuentes renovables, impulsadas principalmente por la generación eólica y solar (Dirección de información energética, 2021). Es destacable, además, la contribución que se viene realizando de manera sostenida desde

el sector de la bioenergía, (biomasa y biogás), mediante la apertura de nuevas plantas de generación basadas en estos combustibles. Este tipo de emprendimientos, tienen una importancia fundamental debido no solo al aporte de energía sino también al impulso que generan en la proliferación de estas tecnologías. Argentina encuentra condiciones favorables para la explotación sostenible de los recursos de la biomasa. En el norte del país, muchos emprendimientos aprovechan recursos desperdiciados de madereras e ingenios para la producción de energía, mientras que en la región cuyana, residuos de la industria vitivinícola y frutihortícola permitirían una generación energética interesante. En el centro y este del país, región tradicionalmente agrícola y ganadera, se observa un fuerte avance de la explotación agrícola, basada fundamentalmente en el cultivo de soja, trigo y maíz, cuyos residuos son escasos, y se aprovechan para alimentación animal o como manto de protección del suelo como estrategia *ex profeso* en la tecnología de siembra directa.

En estas regiones de miles de hectáreas, la expansión y el mantenimiento de las extensas redes eléctricas de distribución resultan un desafío para las distribuidoras que las administran. Esto implica serias dificultades en la calidad de servicio para los productores y pobladores de diversas zonas rurales. Así, la generación distribuida se vuelve fundamental para descomprimir el sistema interconectado y las redes de distribución a diferentes niveles, y mejorar así la resiliencia energética. Es preciso entonces encontrar herramientas que permitan la generación renovable de energía, adecuada a los recursos disponibles mediante un uso inteligente y sostenible.

La biomasa agrícola residual representa una interesante proporción de los cultivos (Menendez y Hilbert, 2013). El rendimiento promedio de la planta depende tanto del tipo de suelo, como de las precipitaciones y la genética de la semilla. Sin embargo, existen espacios de tierra marginales, cuya productividad es menor debido a las características naturales o al agotamiento del suelo, y resultan interesantes para potenciar el crecimiento de otro tipo de especies que puedan ser destinadas a la generación de energía. Así mismo, la implantación de cierto tipo de cultivos naturales o genéticamente diseñados pueden contribuir al enriquecimiento del suelo, aportando nutrientes y recuperándolos.

En este sentido, desde hace algunos años, se vienen realizando estudios acerca del uso del sorgo bioenergético (*Sorghum Bicolor L*) como cultivo energético. Esta especie tiene la capacidad de desarrollar gran cantidad de biomasa por ha, a expensas del subdesarrollo del grano. Bajo estas condiciones alcanza alturas de desarrollo superiores a los dos metros de caña, con un rendimiento aproximado de 70 t de materia seca por ha y una alta proporción de lignina, lo que le otorga un elevado poder calorífico al ser combustionado, en comparación con otro tipo de cultivos.

Giorda et ál (2017) realizaron siembras experimentales de diversas especies de *Sorghum Bicolor L*, identificando aquellas óptimas para la generación de alto contenido en biomasa lignocelulósica. Entre ellas, las especies identificadas se siguen estudiando para mejorar la tolerancia a condiciones ambientales marginales, menor humedad a cosecha, lo que favorece la conversión en procesos termoquímicos, y reducción de la panoja.

Este tipo de plantaciones, resultan prometedoras desde el punto de vista ambiental y energético debido a que mejoran las condiciones de rotación y cuidado del suelo e impulsan la producción en regiones marginales, generando cosechas con elevada cantidad de materia seca por ha y con un elevado potencial biomásico. Sin embargo, desde el punto de vista logístico, este tipo de material resulta complejo de manejar. Por un lado, el gran porte de sus tallos implica que el material debe voltearse, dejarse secar y luego picarse en el mismo lugar de la cosecha. Por el otro, se sabe que el costo de transporte y el elevado volumen específico de estos materiales redundan en un proceso económicamente desfavorable. Con esta realidad, se requiere desarrollar alternativas de acondicionamiento y densificación de la biomasa, con procesos sencillos y de bajo costo, que impulsen la capacidad de cosechar y generar combustibles biomásicos para el autoconsumo o la generación eléctrica cooperativa, haciendo énfasis en la capacidad de las comunidades agrícolas de alcanzar la sustentabilidad y la independencia energética.

En relación con los procesos de peletización de biomasa, Gilvari et ál (2019) ha relevado diversos factores que influyen en la calidad de los combustibles sólidos obtenidos, mientras que diversos estudios evaluaron

la compactación de bagazo de caña, huesos de aceituna, cáscaras de nueces, almendras y serrines diversos (Ibitoye, 2021). Ajimotokan (2019) y Song (2019) estudiaron además la codensificación de la biomasa con mejoradores para mejorar el proceso de combustión.

Si bien existen antecedentes del proceso de peletizado de diversas materias primas, son escasos los registros del acondicionamiento de este tipo de material en particular, debido a que la cosecha del mismo resulta aún experimental. Por otro lado, la densificación de materiales con alto contenido en fibras y elevada cantidad de lignina, resulta un desafío técnico que debe superarse para poder disponer del combustible de manera segura, económica y estable, favoreciendo la generación de energía “a demanda” y como complemento a otras formas de generación menos estables.

El desarrollo y la puesta a punto de la etapa de acondicionamiento del material, permitiría pensar a la biomasa como una alternativa sustentable y rentable para la generación de energía en modo distribuido, procurando la independencia energética y apostando al desarrollo de economías centradas en el cuidado del recurso y el aprovechamiento de los residuos. En virtud de lo planteado hasta aquí, el presente trabajo se ocupa de organizar los avances preliminares en el proceso de peletizado en un prototipo de planta piloto de acondicionamiento de sorgo lignocelulósico.

DESARROLLO

El presente trabajo se realizó a partir de material obtenido mediante una siembra experimental desarrollada entre la empresa Manfrey Cooperativa de Tamberos Ltda., la agencia de Extensión rural de INTA San Francisco y la estación experimental INTA Manfredi, bajo el programa de mejoramiento del sorgo que lleva adelante esta última institución. En este proyecto se sembraron, con 4 tipos de sorgo en diciembre de 2013, parcelas de 100 m de largo por cuatro surcos de ancho a 52 cm, sin fertilización. Se alcanzaron en esa campaña, con la variedad 5870-81 del INTA, los mayores rendimientos, con valores de 94.676 kg/ha de materia verde y 35.625 kg/ha de materia seca. Las distintas variedades de sorgo arrojaron en promedio un poder calorífico de 17,67 MJ/kg, alcanzando más del 80 % del poder calorífico de la madera de pino. En 2014 se realizó un segundo ensayo, donde se alcanzaron mayores proporciones de materia seca por ha, logrando para la misma variedad 41.283 kg/ha. A partir de allí, se sembraron a fines de 2014 60 ha de sorgo que se cosecharon, picaron en campo y ensilaron para la generación de energía.

El almacenamiento de este tipo de material involucra gran espacio físico y genera inconvenientes como la degradación del material, puntos calientes, generación de gases y descomposición. A raíz de esto se requiere entonces procesar el mismo para mejorar las condiciones de almacenamiento. Se iniciaron los ensayos de acondicionamiento con material almacenado durante 4 años, con lo cual las condiciones de humedad difieren del contenido del rastrojo recién ensilado, alcanzando valores del 59 % en base seca.

El proceso de peletizado propuesto involucra etapas de picado, secado, prensado y almacenamiento (figura 1). En la etapa de secado el requerimiento de energía, debido principalmente al elevado contenido de humedad alcanzado por el material, resulta elevado. El secador flash utilizado (Meelko y Co, USA) tiene una capacidad de 200-250 kg/h y un consumo de combustible sólido de entre 15 y 25 kg/h. El material fluye por el mismo mediante un ventilador accionado por un motor eléctrico de 5,5 kW, y la reducción posible de humedad, informada por el fabricante, se sitúa en torno al 12 %.

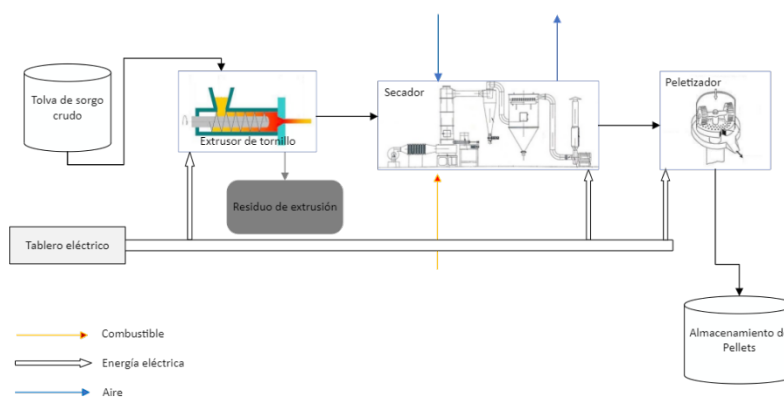


FIGURA 1
Esquema de proceso de acondicionamiento de biomasa

Fuente: Elaboración propia

Se adicionó, previo al secado, una prensa extrusora de tornillo helicoidal modificada, para incrementar la reducción de humedad y disminuir el contenido de cenizas de la materia prima. La extrusora seleccionada fue una prensa para aceites helicoidal (figura 2), a la que se le redujeron 0,5 mm del diámetro de las luces de los huelgos del extrusor para evitar atascamientos. El caudal de extrusión, que es variable y depende directamente de la facilidad con que fluye el material, se registró en torno a los 20 kg/h para una prensa de 3 t/h alimentada por un motor de 15 kW. Se inició el ensayo de prensado, expulsándose residuos de material junto al líquido por los canales de drenaje de la extrusora. El consumo de corriente del motor se acercó a los 13 A, semejante al consumo del motor sin carga. Por el extremo opuesto se extrajo material prensado compactado en forma de cáscaras. El consumo de corriente aumentó, alcanzando los 26 A y estabilizándose finalmente entre 17,5 y 20 A. Con el avance del material por el tornillo, se evidenció la generación de vapor por los drenajes y junto al material de salida, humedeciéndolo, hasta el atasco total del tornillo. La figura 3 a y b muestra el material al ingreso y salida del proceso de extrusión. El desarme del equipo mostró compactación del material y evidencias de alta temperatura y presión, que polimerizaron la lignina generando incrustaciones en los equipos (figura 4). El material que pudo recogerse se derivó hacia el secado flash.

El proceso de secado flash se realizó sin inconvenientes, fluyendo el material sin mayores complicaciones. La reducción de humedad de los procesos de secado se muestra en la tabla 1. El análisis proximal para la determinación de los parámetros de humedad, materia seca y cenizas se realizó en el laboratorio SEQUILAB (UTN, FRSFco), mediante metodología estándar ASTM E872- 13; ASTM D1102 – 13.

TABLA 1
Análisis proximal de muestras de rastrojos de sorgo y pélets

Muestra	Morfología	Longitud (mm)	Humedad residual (%)	Materia Seca (%)	Cenizas† (%)	Materia Orgánica†, †† (%)
Sorgo Ingreso Extrusor	Fibras	15 - 30	59,32 ± 0,03	40,68 ± 0,03	18,5 ± 0,02	81,49 ± 0,01
Sorgo Salida Extrusor	Material apelmazado	-	44,85 ± 0,08	55,15 ± 0,08	7,92 ± 0,03	92,08 ± 0,03
Sorgo salida Secador	Fibras	5-30	20,57 ± 0,08	79,43 ± 0,08	7,20 ± 0,01	92,81 ± 0,01
Pélets híbridos (S+M+S)	Pellets	10-20	-	-	-	-

† % en base seca

†† Materia orgánica=volátiles + carbono fijo



FIGURA 2
Prensa extrusora para soja



FIGURA 3

a) Ingreso de sorgo a planta piloto b) salida de sorgo del extrusor c) salida de sorgo del secador



FIGURA 4

a) Incrustación en el tornillo de la prensa extrusora b) rastrojo de sorgo polimerizado por presión y temperatura durante la extrusión.

El material obtenido luego del secado, con un bajo contenido de humedad y una potencial reducción de cenizas alcanzada durante la extrusión, se ingresa a la peletizadora. El equipo seleccionado para este proceso es una peletizadora MKFD200R (Meelko Co, USA) con rodillo rodador de 200 mm y matriz plana de 100/120 kg/h. El motor tiene una potencia de 7,5 kW y el diámetro de los pélets obtenidos varía entre 6 y 10 mm dependiendo de la matriz.

El proceso de peletizado resultó dificultoso debido a la longitud de las fibras que alcanzaban los 30 mm. Si bien este tipo de peletizadora está diseñada para el procesado de pasturas, el material se atasca en los huecos de la matriz, y los pélets obtenidos no resultan uniformes. Para solventar este problema se decidió realizar pélets híbridos con diferentes pasturas, involucrando rastrojos de soja y maíz a la pastura de sorgo en una proporción 40:40:20. El contenido de otros compuestos como azúcares y almidones contenidos en esta nueva matriz, además del menor tamaño del residuo picado, permitieron que el material se compacte adecuadamente (figura 5).



FIGURA 5
Pélets Híbridos de rastrojos de soja/maíz/sorgo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis proximal de los materiales durante el proceso de acondicionamiento muestra valores de reducción de humedad durante la extrusión de un 14,4 % para el sorgo, abandonando la extrusora con una humedad relativa de 45 %. El ingreso a la peletizadora debe tener un bajo contenido de humedad para optimizar el proceso de gasificación. Dependiendo del tipo de gasificador, se recomienda un contenido de humedad de entre 15 y 25 % (Gallino, 2020), que se alcanza con la instalación del secado flash por aire caliente. En esta etapa el material sale con un 20,57 % de humedad, adicionando una disminución de humedad al proceso del 24,23 %. Los valores de humedad alcanzados con la combinación de procesos resultan satisfactorios. Así mismo, se pudo observar que el proceso de extrusión mecánica disminuye el contenido de cenizas del material en un 10,6 %. Esto influye positivamente sobre la posterior etapa de gasificación, ya que un menor contenido de cenizas representa mayor poder calorífico del combustible y menor generación de residuos provenientes del proceso de combustión. Sin embargo, la dificultad que presenta la materia prima para fluir durante la extrusión implica esfuerzos mecánicos, lo que disminuye la posibilidad de ahorro energético e involucra tiempos de limpieza y desobstrucción. Para superar esta dificultad, se consideran dos posibilidades, por un lado, invertir mayor tiempo y energía durante el proceso de secado por lecho fluido sin intervención de la extrusión, y por el otro combinar la alimentación del proceso con distintos tipos y porcentajes de rastrojos. Esta última condición involucra una disminución en el contenido energético de los pélets alcanzados, pero mejora las condiciones del proceso de densificación.

Bajo esta premisa se ensayó el proceso de densificación, peletizando una mezcla soja:maíz:sorgo con humedad análoga al sorgo puro. La peletizadora mostró un buen desempeño, y se lograron obtener pélets con buenas dimensiones, de 6 mm de diámetro por 10 a 20 mm de longitud, con una densidad aparente de 604,9 kg/m³. La densidad aparente del rastrojo de sorgo en el ingreso a la planta es de 97,7 kg/m³; con lo que se alcanzó una densificación del 600 %.

En Argentina, los rastrojos de estos cultivos se dejan sobre el suelo para realizar la técnica de siembra directa, permitiendo así que la descomposición de aquellos aporte nutrientes al suelo y lo preserve de la erosión. Esta práctica es una de las acciones que se toman desde la agroindustria para evitar la erosión devastadora de los campos. Sin embargo, a nivel industrial y energético, la manufactura de pélets híbridos es conveniente para sostener la generación de combustible sólido con adecuado poder calorífico y de manera no estacional, independizándose de una única materia prima y los inconvenientes que esto podría acarrear. Esta práctica por otro lado, permite la reducción de los residuos agroindustriales e impulsa la estrategia de involucrarlos para mejorar el ciclo del circuito productivo mediante el agregado de valor de los recursos. En estas condiciones, es

preciso analizar la proporción exacta de rastrojos necesarios para sostener la protección del suelo, y calcular así la disponibilidad real de residuos, analizando sus ventajas y desventajas al ser reutilizados en la copeletización para la generación de energía.

Los resultados obtenidos demuestran que la densificación adecuada del sorgo es posible mediante la peletización, pero deben alcanzarse proporciones y mezclas óptimas que reduzcan el consumo de energía durante el proceso y optimicen la generación de energía durante la combustión del pélet. En trabajos a futuro se evaluará además, la modificación del proceso agregando una operación de molienda y se cuantificará energéticamente el proceso completo de manera de conocer con exactitud el balance energético del proceso y cómo influye este en la factibilidad de generar combustible sólido a partir de este tipo de sorgo. Cabe destacar que este proyecto se enmarca en los alcances del PID ENPPBSF0008448, donde se considerarán las cuestiones prácticas de utilización del producto de la gasificación en un sistema de generación de energía eléctrica.

CONCLUSIONES

La generación de energía en modalidad distribuida mediante la gasificación de biomasa es una alternativa posible y sustentable para enfrentar la transición energética. Para alcanzar con éxito esta transición es preciso optimizar la generación de combustible sólido, que permita mejorar el poder calorífico y la capacidad de almacenamiento del mismo y sustente así la generación de energía de base. El presente trabajo se orientó hacia el estudio de la optimización preliminar del proceso de peletizado de sorgo lignocelulósico, mediante un proceso a escala piloto que involucró reducción de humedad y cenizas por extrusión, secado y peletizado. La disminución de humedad alcanzada por los procesos de extrusión y secado alcanzó el 38 % y la reducción de cenizas el 10,6 %. El proceso de extrusión en una prensa modificada mecánicamente resultó poco eficiente debido a la generación de incrustaciones que detenían el proceso además de incrementar el esfuerzo mecánico de la prensa. Este mismo inconveniente se registró en el proceso de peletizado, lo que llevó a la mezcla de rastrojo de sorgo con rastrojo de soja y maíz para alcanzar la conformación del pélet. Los pélets híbridos obtenidos muestran una densificación del 600 % y son adecuados mecánicamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Secyt – UTN por el financiamiento mediante el PID ENPPBSF0008448 y a Manfrey Cooperativa de Tamberos Ltda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ajimotokan, HA; Ehindero, AO; Ajao, KS; Adeleke, AA; Ikubanni, PP (2019). Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Sci African* 6:1–9
- Dirección de Información Energética, Subsecretaría de planeamiento energético (2021). *Informe Trimestral de Coyuntura Energética, Segundo Trimestre de 2021*. Secretaría de Energía, Gobierno de la Nación Argentina.
- ESMAP (2020). *Sustaining the Momentum: Regulatory Indicators for Sustainable Energy 2020*. Washington, DC: World Bank. <https://rise.esmap.org/data/files/reports/rise-electricityaccess.pdf>
- Gallino, A. (2020). *Introducción a la dendroenergía*. Colección Documentos Técnicos N.º 21. Buenos Aires: FAO. <https://doi.org/10.4060/cb0619es>
- Gilvari H, De Jong W, Schott DL (2019) Quality parameters relevant for densification of biomaterials: measuring methods and affecting factors—a review. *Biomass Bioenerg.* 120: 117–134

- Giorda, L.M; Colazo, J.L. (2017). *Biomasa Energética de Sorgo en Ubajay (Entre Ríos)*. INTA Manfredi y el Sorgo: *Nuevos Desarrollos*. Informe técnico. Córdoba, Argentina : INTA, Estación experimental Manfredi.
- Ibitoye, S.E., Jen, TC; Mahamood, R.M; and Akinlabi, Esther T. (2021). Densification of agro-residues for sustainable energy generation: an overview. *Bioresour. Bioprocess.* 8: 75 <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00427-w>
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. (2021). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*. Washington DC: World Bank.
- Menéndez, J.E. y Hilbert J.A. (2013). *Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía*. Informes técnicos bioenergía. INTA, 2(4), 48.
- Pérez Urdiales, M.; Alatorre, C.; Rasteletti, A.; Stampini, M.; Tolmasquim, M.; Yépez, A.; Hallack, M. (2021). *El papel de la transición energética en la recuperación sostenible de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo, División de Energía. IX. Serie IDB-TN-2142.
- Song A, Zha F, Tang X, Chang Y (2019). Effect of the additives on combustion characteristics and desulfurization performance of cow dung briquette. *Chem Eng Process Process Intensif.* 143:1–8
- World Bank and IEA (International Energy Agency). (2015). *Progress Toward Sustainable Energy: Global Tracking Framework Report*. Washington, DC: World Bank. <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads>