

OBTENCIÓN DE PELLETS HÍBRIDOS DE MAÍZ/ESPARTILLO PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA.

Agustina Balangione¹, Rocío Gallará¹, Valeria Ortmann¹, Mariana Bernard^{1,2,*}

¹CIDEME, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. La Universidad 501, 2400, San Francisco, Córdoba, Argentina.

² Departamento de Ingeniería Electromecánica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. La Universidad 501, 2400, San Francisco, Córdoba, Argentina.

*mbernard@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La problemática mundial en torno al acceso y consumo de la energía manifiesta la dependencia de los combustibles fósiles. Para avanzar en la transición energética, debe enfatizarse la generación proveniente de fuentes que involucren tanto el aprovechamiento del recurso renovable como la reconversión de residuos en recursos energéticos. La zona agrícola central de Argentina es una importante fuente de biomasa, sin embargo, los proyectos de generación de energía con este recurso son escasos. El maíz es uno de los principales cultivos de la provincia de Córdoba, ocupando el 58 % de la superficie sembrada. Con un promedio de 8 t/h de rastrojo (RM) y considerando que una disposición del 50 % no altera la capacidad de enriquecimiento y protección del suelo, existe gran disponibilidad de biomasa. En la misma región coexisten tierras de menor productividad, donde naturalmente crecen pasturas que resisten condiciones adversas. *Spartina argentinensis* (E), es una especie que resulta energéticamente interesante. Es poco adecuada para la alimentación animal y foco de proliferación de incendios, por lo que es una práctica común eliminarla. El aprovechamiento de RM y el corte programado del E, pueden generar, previo acondicionamiento, un pellet adecuado para el almacenamiento y la generación de energía. Este trabajo involucra la generación y caracterización de pellets híbridos a partir de RM y E. Se recolectaron y acondicionaron muestras de E y RM y se determinó un contenido de lignina insoluble de 52 % y 16 % respectivamente. Se realizaron cálculos teóricos de las mezclas en función de sus características fisicoquímicas y se generaron pellets en distintas proporciones. Los cálculos de poder calorífico muestran que a partir de una proporción 1:3 se alcanzaría un material con un PC semejante al obtenido por el aserrín de pino.

Palabras Clave: Espartillo, Maíz, Pellet, Energía, Biomasa.

Introducción

Con el 69 % de su matriz de generación eléctrica suplida por gas natural y petróleo en 2021 (Secretaría de Energía, 2021), Argentina tiene su matriz energética conformada principalmente por combustibles fósiles. La situación de crisis energética y climática que enfrenta el mundo entero, exige compromisos frente al uso de los combustibles y la disminución de CO₂. En este contexto, Argentina se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero un 19 % respecto de su máximo histórico registrado en 2007 (MAyDS, 2020). Esto implica un compromiso urgente con la transición en sus formas de generación de energía eléctrica. En este sentido, las energías renovables toman preponderancia, procurando mejorar sus tecnologías, eficiencias e instalaciones.

La biomasa, como fuente de energía renovable en nuestro país, se encuentra poco desarrollada, cubriendo tan solo un 6 % de la generación de energía eléctrica por fuentes renovables, que a su vez compone el 8 % de la matriz energética total (Secretaría de Energía, 2021). Esta situación demuestra un desaprovechamiento de un recurso energético ampliamente disponible y cuya explotación implica una alternativa interesante al problema de la crisis energética (FAO, 2020). El uso de la biomasa como fuente de energía tiene la particularidad de ser almacenable, constante y versátil. Esto sugiere la posibilidad de ser utilizada en centrales de base en la generación de energía eléctrica mediante tecnologías existentes, conocidas y competitivas. Desde el punto de

vista ambiental, el aprovechamiento de la biomasa involucra un ciclo neutro de CO₂. Esto se potencia cuando el combustible biomásico pertenece a los de segunda generación. El uso de los residuos del agro, implica la introducción en el mercado de nuevos productos con valor agregado, lo que moviliza inversiones y promueve nuevos negocios y puestos de trabajo (FAO, 2020). Argentina tiene una extensa superficie destinada a la producción agrícola. En la campaña 2021/22 se alcanzó un récord histórico de superficie sembrada, alcanzando los 38,7 M de hectáreas (ha). A su vez en el mismo período, el maíz alcanzó su récord de siembra, con 7,7 M de ha, un 19,9 % del total sembrado (Di Yenno & Terr, 2021). En la provincia de Córdoba, 3,2 M de ha fueron sembradas con maíz en la campaña 2021/22, ocupando el 58 % de la superficie sembrada (BCC, 2021). Actualmente, los productores argentinos procuran orientarse hacia prácticas más sustentables, entre las que se encuentra la siembra directa. Este proceso, que implica sembrar directamente sobre el rastrojo del cultivo anterior, tiene el objetivo de realizar enmienda orgánica al suelo además de preservar la tierra de la erosión. Crespi & Pugliese (2017), indican que del material remanente sobre la superficie de los campos que se destinan a siembra directa, tan solo el 40 % es incorporado en forma de nutrientes (Crespi Bosshardt, R. Pugliese Stevenazzi, 2017); mientras que otros autores recomiendan la remoción de hasta un 25 % del rastrojo sin que resulte afectado el esquema de protección del suelo (Menéndez & Hilbert, 2013). Con un promedio de 8 t/ha, el rastrojo de maíz (RM) se convierte en una interesante fuente de generación de biomasa.

Por otro lado, existen en Argentina muchas ha de tierra con bajo poder productivo, entre las que se encuentra una amplia región al este de Córdoba que involucra los bajos de Jeanmaire. Esta región se caracteriza por anegamientos, bajas precipitaciones y suelos altamente salinos. En este tipo de geografías, las especies que pueden adaptarse y sobrevivir son escasas. La vegetación predominante son los pajonales, entre los que se destaca *Spartina Argentinensis* (espartillo o paja chuza) (Jozami et al., 2022). El espartillo (E) crece naturalmente y se adapta a estos tipos de suelos, por lo que desarrolla una importante cantidad de biomasa rica en lignina. Esto lo vuelve poco adecuado para la alimentación animal, con lo que una práctica frecuente es la quema controlada de los mismos para incentivar el rebrote, que es la única instancia donde el ganado puede consumirlo. En las épocas de intensas sequías, estos pajonales se vuelven focos de incendios rurales, afectando a la flora y fauna regional. Si bien desde el punto de vista agrícola E no tiene valor comercial, su elevado contenido en lignina lo vuelve atractivo desde el punto de vista de la generación de energía con biomasa. Jozami et al (2017) han estudiado el análisis energético y económico para el aprovechamiento del E para la generación de energía por gasificación. Crespi & Pugliese (2017) han evaluado el potencial energético de los residuos agroindustriales de la región, revalorizando el uso de maíz y sorgo por su interesante potencial energético. El presente trabajo propone el uso de RM y de E para la obtención de pellets híbridos a escala laboratorio para la generación de energía térmica. Se pretende entonces evaluar diversas relaciones de materia prima de E/RM para obtener aquella proporción que presente un buen equilibrio entre el contenido energético, una producción energéticamente sustentable y una alternativa comercialmente atractiva para los productores agrícolas.

Materiales y métodos

Para este trabajo se utilizó RM dejado sobre el campo luego de la cosecha. Este fue recolectado de manera manual de una parcela en la región de Estación Clucellas, (Santa Fe) a los 20 días de haberse cosechado. De la misma manera, E se recolectó en la zona rural de La Francia, entre 5 y 10 km de la cañada de Jeanmaire (Córdoba), donde esta especie presenta crecimiento natural. E y RM se cortaron con tijera de podar en fracciones pequeñas para mejor manipulación, se secaron en estufa a 105 °C durante 2 h y se almacenaron para su posterior acondicionamiento. Se realizaron determinaciones de humedad (ASTM Int, 2013), cenizas (ASTM Int, 2001), material volátil (ASTM Int, 2019) y materia orgánica. Los materiales secos se molieron por separado en molino de cuchillas (Arcano) a 28000 rpm y se fraccionaron luego por tamizado utilizando mallas normalizadas de 840 y 500 μm (#20 y #35 respectivamente). El proceso de peletizado involucra dos etapas. En primer lugar, se generaron pellets de composición pura, E, con diversas granulometrías. En función de los materiales obtenidos en esta primera fase, se define la

granulometría adecuada para el desarrollo de los densificados híbridos de E/RM. La descripción de los ensayos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Preparación de muestras para ensayos de compactación

Código	Material	Granulometría	Proporción
E1	E	< 500 μm	-
E2	E	500 – 840 μm	-
E3	E1 y E2	< 840 μm	1:1
RM4	RM	< 500 μm	-
ERM4	E1 y RM4	< 500 μm	3:1
ERM5	E1 y RM4	< 500 μm	1:1
ERM6	E1 y RM4	< 500 μm	1:3

Los materiales preparados y fraccionados según la Tabla 1 se procesaron en una compactadora de pastillas manual accionada por un balancín entre punzones de 10 mm diámetro. El equipo utilizado (figura 1) funciona mediante dos cilindros que ingresan dentro de una matriz calibrada. El punzón inferior se regula para permitir el ingreso de mayor o menor material a la matriz y se mantiene fijo durante la compresión, el superior se desplaza y comprime por la acción mecánica del balancín que puede ser accionado eléctrica o manualmente. La presión máxima de compresión aplicada es de 15 kN.



Fig. 1 – Prensa compactadora de tabletas monopunzón.

Las mezclas de diversos materiales se alimentaron de manera manual hacia la matriz para realizar la compresión. El proceso de compactación se realizó a temperatura y humedad ambiente. No se usaron aditivos. Los pellets se pesaron en balanza de precisión y se midieron con calibre. Se calculó el promedio de tamaño y peso de los mismos, así como la densidad aparente de cada producto. La determinación del poder calorífico superior (PCS) se realiza de manera analítica mediante la aplicación de la fórmula de Küçükbayrak, donde se considera el contenido de volátiles y cenizas para estimar el PCS en relación con su contenido de lignina. Su ecuación (1) asume que el PCS es función polinómica de la materia volátil (VM) y de la ceniza (A) (Küçükbayrak et al., 1991). El cálculo del PCS de las mezclas se calcula de manera proporcional considerando el contenido de E y de RM del producto final.

$$PCS = 76,56 - 1,3[VM + A] + 7,03 \times 10^{-3}(VM + A)^2 \quad (1)$$

Resultados y discusiones

Las figuras 2 (a,b) y 3 (a,b) muestran los materiales que fueron utilizados en este estudio. Los análisis proximales de las materias primas, que pueden observarse en la tabla 2, muestran contenidos de humedad menor al 11 % en ambos casos, con bajo contenido de cenizas y alto porcentaje de volátiles. La densidad original de ambos productos es baja, principalmente para RM, cuyo elevado volumen específico dificulta la manipulación del producto. La trituración de estos logró aumentar 4 veces la densidad específica de E y 1,4 veces la de RM.



Fig. 2: a) *Spartina argentinensis* (E) b) Rastrojo de Maíz (RM)



Fig. 3: Fracción menor a 500 μm a) *Spartina arg.* (E1) b) Rastrojo de Maíz (RM4)

Tabla 2. Análisis proximales de materias primas

Código	Humedad (%)	Cenizas (%)	Volátiles (%)	Carbono Fijo (%)	Lignina (%)	Densidad aparente - granel (kg/m^3)	Densidad aparente - molienda (kg/m^3)	Relación de compresión
RM	4,62	3,71	87,30	4,37	16,00	57,15	80,65	1,41
E	10,62	11,06	64,80	13,53	52,17	56,40	225,00	3,98

La diferencia en las densidades que estos productos presentan implica dificultades relacionadas a la manipulación y a los grandes volúmenes de materia prima, volviendo de suma importancia el proceso de densificación. La caracterización de los pellets obtenidos se detalla en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de pellets obtenidos

Código	Peso promedio	PCS (MJ/kg)	Densidad aparente (Kg/m^3)	Relación de compresión pellet/molienda*	Apreciaciones
E1	$0,387 \pm 0,036$	18,39	616,70	2,74	Buena compactación.
E2	-	-	-	-	No se llega a armar.
E3	$0,290 \pm 0,004$	-	-	-	Baja resistencia mecánica.
RM 4	-	16,47	-	-	Buena compactación. Bajo peso.
ERM4	$0,349 \pm 0,068$	17,91	528,70	2,79	Buena compactación. Buena resistencia mecánica.
ERM5	$0,298 \pm 0,063$	17,43	460,00	3,00	Buena compactación. Buena resistencia mecánica.
ERM6	$0,353 \pm 0,047$	16,95	457,50	3,91	Buena compactación. Buena resistencia mecánica

* La relación de compresión es calculada en base a las *densidades aparentes* de los pellets y del material molido.

Entre los extremos ensayados, las mezclas propuestas requieren de presión incremental para lograr el armado del pellet, de hecho, a medida que se incrementa la proporción de RM en la mezcla se debe aumentar la presión de la compactadora. Esto se logra permitiendo el llenado con el punzón en su punto inferior a 10 mm, realizando una primera compactación y moviendo el cilindro inferior hacia arriba en la segunda compresión. Es preciso destacar que, cada paso de la rosca que mueve el punzón inferior permite que éste suba 1 mm, por lo cual, a medida que se fue incrementando la cantidad de RM en la mezcla, fue necesario subirlo hasta 5 mm respecto de su posición original. Los pellets obtenidos se muestran en la figura 4.

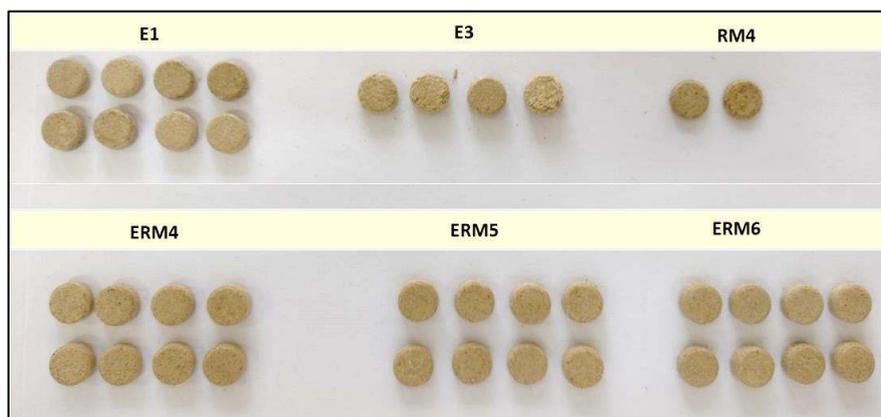


Figura 4: Pellets obtenidos por compactación

La relación de compresión obtenida para E1 fue menor que para todas las demás opciones, mientras que el peso promedio y la densidad aparente fue mayor. Así mismo, las mezclas de E/RM indican que el impacto del agregado de RM disminuye la densidad aparente e incrementa la relación de compresión. La incorporación de RM a la mezcla incide directamente sobre el poder calorífico debido al menor contenido de lignina en relación con E. La determinación analítica utilizada se acerca mucho al valor experimental del PC encontrado en la literatura, siendo éstos de 18,213 MJ/kg para E (Gallo Mendoza & Ugarte, 2015) y 17,965 MJ/kg para RM (Fonseca et al., 2017). Con relación al PCS de los productos obtenidos, puede observarse que a una relación 1:3 E/RM, (ERM6), el mismo supera al PC del aserrín de *pinus radiata*, cuyo valor es de 16,53 MJ/kg (Fredes Nuñez, 2014), con lo cual puede pensarse que para la generación de pellets mediante aprovechamiento de residuos de maíz, el PC es adecuado.

El uso de un mayor contenido de RM en la mezcla, al requerir mayor presión para lograr la compactación, puede influir en el consumo energético del proceso y disminuir la energía obtenida. Sin embargo, es preciso destacar que el uso de RM, involucra el aprovechamiento de un residuo de la industria del agro, que se incorporaría en el mercado energético proporcionando alternativas para enfrentar la transición en el consumo de combustibles. Es importante también destacar que la tecnología utilizada para la peletización, difiere a la utilizada en los procesos a escala piloto o industrial, donde los pellets no solo se arman por la presión sino también por el calor generado en la fricción, mejorando la resistencia mecánica de los pellets obtenidos en estas condiciones.

Conclusiones

En este trabajo se evaluó la posibilidad de utilizar *Spartina argentinensis*, una pastura de crecimiento natural en regiones de alta salinidad de la zona central de Argentina, para enriquecer el poder calorífico de pellets híbridos de E y RM, y favorecer la compactación. El uso de residuos como RM para la generación de combustibles de segunda generación, permite restituir al sistema productivo un material de desecho con escasa capacidad calorífica.

Se ensayaron pellets utilizando partículas mayores y menores a 840 μm . Se alcanzaron mejores resultados cuando el tamaño de partícula es menor. Con este tamaño de partículas, se realizaron mezclas E/RM en proporción 3:1; 1:1 y 1:3. Los pellets resultaron con mayor densidad aparente

cuando el porcentaje de E en la mezcla es mayor, al igual que su poder calorífico. Sin embargo, una baja incorporación de E al pellet, en proporción del 25 % respecto de la masa total, permite alcanzar un material adecuado, con buena compactación y PCS semejante al del aserrín de *pinus radiata*.

La generación de este tipo de materiales híbridos compactados permite la posibilidad de obtener combustibles cuyas condiciones de almacenado y transporte resulten sostenibles, y que, de ser incorporados al proceso de generación de energía, permitirían sostener la producción de energía eléctrica de base, favoreciendo la incorporación de diversas tecnologías sustentables para la transición energética de cara al 2050.

Agradecimientos

Agradecemos al personal de la Planta Elaboradora de Medicamentos de la Municipalidad de la ciudad de San Francisco, particularmente al Lic. Guillermo Cuffia y al Sr. Norberto Poncini cuya colaboración resultó fundamental para el desarrollo de este proyecto.

Este trabajo ha sido financiado por la UTN, FRSFco, mediante el proyecto PID ENPPBSF0008448.

Referencias

- ASTM Int.(2001). ASTM *D 1102 – 84*, Standard Test Method for Ash on Wood.
- ASTM Int. (2013). ASTM *D 3173-03*, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke.
- ASTM Int (2019). ASTM *E 872-82*, Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels.
- BCC (2021). *Informe N° 397, Campaña 2021/22- “Tercera estimación de siembra de cultivos estivales 2021/22 – Maíz”. Bolsa de Cereales de Córdoba, Argentina. 2021.*
- Crespi Bosshardt, R. Pugliese Stevenazzi, M. (2017). *Energías renovables con énfasis en bioenergía* (Ed. UniRio).
- Di Yenno, F., & Terr, E. (2021). Argentina se encamina a un récord de siembras en la 2021/22. *Informativo Semanal, Mercados BCR, 20, 2019–2022.*
- FAO. (2020). Lecciones aprendidas en proyectos de biomasa y biogás en la Argentina. *Colección Informes Técnicos N° 8.*
- Fonseca, S. D., Rodriguez, H. A., & Camargo, G. (2017). Caracterización De Residuos De Maíz Del Municipio De Ventaquemada, Colombia. *Avances En Ciencias e Ingeniería, 8(2)*, 29–36.
- Fredes Nuñez, N. A. (2014). *Evaluacion Tecnica y Economica de una Planta de Produccion de Combustible Solido a partir de Biomasa Forestal en la Region de Los Lagos.* U de Chile.
- Gallo Mendoza, L., & Ugarte, C. C. (2015). Espartillo: una oportunidad de doble propósito. *Voces y Ecos, INTA., 34*, 29–32.
- Jozami, E., Mele, F. D., Piastrellini, R., Civit, B. M., & Feldman, S. R. (2022). Life cycle assessment of bioenergy from lignocellulosic herbaceous biomass: The case study of *Spartina argentinensis*. *Energy, 254(124215)*, 1–11.
- Jozami, E., Porstmann, J. C., Shocron, A., Feldman, S., Jozami, E., Porstmann, J. C., Shocron, A., & Feldman, S. (2017). Agrociencia Uruguay. *Agrociencia Uruguay, 21(1)*, 78–88.
- Küçükbayrak, S., Dürüs, B., Meriçboyu, A. E., & Kadioğlu, E. (1991). Estimation of calorific values of Turkish lignites. *Fuel, 70(8)*, 979–981.
- MAyDS. (2020). Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina.
- Menéndez, J. E., & Hilbert, J. A. (2013). Cuantificación y uso de Biomasa de residuos de cultivos en Argentina para bioenergía. *Informes técnicos bioenergía 4 (2)*. INTA
- Secretaría de Energía. (2021). Informe Estadístico Anual 2021. *Informe anual 2021*. Rep Argentina.