

Análisis comparativo de cultivos lignocelulósicos con alto potencial energético: *Arundo Donax L.* y *Sorghum Saccharatum*

Comparative analysis of lignocellulosic energy crops with high energetic potential: *Arundo Donax L.* and *Sorghum Saccharatum*

Presentación: 13 y 14 de septiembre 2023

Luciana Belmonte

CIDEME - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
luciladner@gmail.com

Ariana Mariotta

CIDEME - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
arimariotta@gmail.com

Noelia Binotto

CIDEME - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
nbinotto@facultad.sanfransisco.utn.edu.ar

Agostina Quicchi

CIDEME - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
aquicchi@facultad.sanfransisco.utn.edu.ar

Mariana Bernard

CIDEME - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco
mbernard@sanfransisco.utn.edu.ar

Resumen

En la actualidad existen diferentes propuestas que alientan la utilización de los recursos renovables para reemplazar combustibles fósiles frente al contexto del calentamiento global, permitiendo la generación de bioenergías; entre ellas, la biomasa. En esta categoría, los cultivos energéticos adquieren significativa importancia. La intención de este trabajo es comparar las potencialidades de los cultivos energéticos Caña de castilla (*Arundo donax L.*) y Sorgo lignocelulósico (*Sorghum saccharatum*, VM81). A este fin, se caracterizaron los cultivos mediante diferentes ensayos fisicoquímicos, determinando su capacidad calorífica en contexto con sus potencialidades de implantación. Los cultivos de *Arundo Donax L.* y *Sorghum saccharatum* no persiguen fines alimenticios, transformándose así en grandes oportunidades para la producción de biocombustibles ya que no generan efectos negativos en el uso de suelos, mientras que exigen menos proporción de agua y fertilizantes en comparación con otros cultivos.

Palabras clave: *Arundo Donax L.*, *Sorghum saccharatum*, cultivos energéticos, generación de energía, biocombustibles.

Abstract

Currently, there are different proposals that encourage the use of renewable resources to replace fossil fuels in the context of global warming, allowing the generation of bioenergy, among them, biomass. In this category, energy crops acquire significant importance. The aim of this work is to compare the potential of the energy crops Caña de castilla (*Arundo donax L.*) and lignocellulosic Sorghum (*Sorghum saccharatum*, VM81). For this purpose, the crops were characterized by different physicochemical analyses, determining their calorific potential in context with their potential for planting. The crops *Arundo Donax L.*, and *Sorghum saccharatum* are not used for food purposes, thus becoming great opportunities for biofuel production as they do not generate negative effects on soil use, while they require less water and fertilizers compared to other crops.

Keywords: *Arundo Donax L.*, *Sorghum saccharatum*, energy crops, energy generation, biofuels.

Introducción

En las últimas décadas nos encontramos, a nivel mundial, frente a la problemática del calentamiento global. Uno de los factores que contribuyen con la liberación de CO₂, es la creciente demanda energética, debido a que la generación de energía, en muchos países, aún está sustentada por el uso de combustibles fósiles. Este tipo de generación de energía atenta contra el cuidado del medio ambiente debido al manejo de recursos, a las formas de transporte y la accesibilidad de la misma. Por este motivo se busca reemplazar este tipo de generación no renovable a través de la proliferación de las bioenergías, siendo una de ellas la biomasa (Kalak, 2023).

La biomasa es uno de los recursos más abundantes y menos aprovechados en el planeta. Se considera biomasa a la materia orgánica originada mediante un proceso biológico, pudiendo provenir de derivados de plantas o animales. Asimismo, existen diferentes tipos de biomasa que pueden clasificarse según su origen en natural, residual o cultivo energético; según su composición: oleaginosa, alcoholígena, amilácea o lignocelulósica y, por último, según su estado, biomasa húmeda o seca (Saez Ramirez, 2017). Para que la generación de este tipo de energía se produzca de manera sustentable, debemos optimizar el uso de fertilizantes y reducir la utilización de agua para riego, así como considerar el gasto energético involucrado en los procesos de transformación.

Dentro de la biomasa se encuentra una alternativa de gran importancia: los cultivos energéticos. Estos cultivos tienen la capacidad de lograr el desarrollo eficiente de combustibles sólidos debido a la gran cantidad de biomasa que producen y al alto contenido energético de la misma. Un cultivo energético es aquel que fue sembrado específicamente para la generación de energía mediante una cadena de transformación (Dragusanu et al., 2023). Entre ellos los más habituales se destinan hacia la producción de combustibles líquidos, sin embargo, existen numerosos antecedentes en la generación de combustibles sólidos a partir de cultivos energéticos de primera o segunda generación (Herguedas et al., 2012).

En Argentina, la plantación de cultivos energéticos de origen agrícola se acota a la producción de soja y maíz, destinados a la producción de biodiesel y bioalcohol respectivamente. Existen algunos antecedentes experimentales en la plantación de sorgo azucarado para reforzar la producción de biogás de purines de cerdo (Bragachini, et al., 2015). En cuanto a la generación de combustibles sólidos, la tendencia de aprovechamiento involucra la proliferación de bosques leñosos, mediante el cultivo de diversas especies de pino y eucaliptus (MAGyP, 2023). No se cultivan de manera extensiva combustibles energéticos ricos en lignina de origen agrícola.

De entre las diversas posibilidades de implantación de cultivos energéticos, algunas especies permiten una elevada producción de biomasa en regiones inadecuadas para la producción agrícola, como bajos salino-sódicos o regiones inundables. En estas regiones la producción respetuosa de cultivos energéticos podría tener ventajas como la generación de puestos de trabajo, el aprovechamiento y mejora del suelo, y la diversificación de la matriz agrícola.

El objetivo de este trabajo es comparar las potencialidades de los cultivos energéticos de Sorgo lignocelulósico (*Sorghum saccharatum*, VM81) y Caña de castilla (*Arundo donax L.*), en relación con sus características fisicoquímicas, sus necesidades edafoclimáticas, y las posibilidades de ser cultivado en la región centro de Argentina para la generación de energía eléctrica.

Desarrollo

El *Arundo Donax L.* o caña de castilla (AD) es una especie perenne de origen asiático que pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*) y a la subfamilia *Arundinoideae*. Se lo considera una biomasa sólida y lignocelulósica por su riqueza en lignina; además, es atractiva por sus diversas características ya que tiene alto potencial de rendimiento, alta capacidad fotosintética y bajo impacto ambiental con respecto a otras plantas utilizadas para la producción de biocombustibles. Es una especie hidrófila e hipófito, por esta razón, en muchos países mediterráneos, especialmente en zonas templado-cálidas y tropicales, es considerada invasora debido a que crece por los fragmentos dispersos de los rizomas en las orillas acuáticas. También pueden crecer en zonas áridas o suelos marginales, ya que al pasar el primer año de crecimiento se vuelven resistentes a la sequía y requieren una mínima disponibilidad hídrica (Navarro, et al., 2013).

Desde el punto de vista agronómico, es la especie de mayor producción de biomasa por hectárea, solo superada por el bambú. Si bien puede cultivarse en una amplia variedad de suelos, son más adecuados los suelos profundos con pH de 5,0 a 8,7, con elevada humedad, pero sin encharcamiento superficial durante la etapa juvenil (Nogar et al., 2021). Esta especie puede cultivarse a partir de los cañaverales existentes, es decir, cultivos forestales, o mediante cultivos agronómicos, lo que implica la implantación y cortes de cañas. Al ser una especie invasora, debe controlarse la competencia del cultivo frente a plantaciones nativas (Pelegrín Muelas, 2015). La cosecha de cañas durante el invierno conlleva menor humedad. Por su elevada velocidad de crecimiento, alta acumulación de biomasa y al no ser considerado un cultivo alimenticio, se convierte en una valiosa planta para cosechar con fines energéticos; contribuyendo a disminuir la dependencia del petróleo, las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir la degradación de los suelos (Viana Otero & Siri Prieto, 2018).

Actualmente, se siguen estudiando diversas técnicas de cultivo y tecnologías para aumentar el rendimiento de esta biomasa perenne, por lo que, en nuestro país el esquema básico de explotación vigente que se mantiene en estado de investigación es: desbroce, recogida, trituración y transporte a la planta de tratamiento. Las variables de aprovechamiento y gestión dependen de si la caña es existente o si es de nueva implantación. En el aprovechamiento de la caña existente las variables a tener en cuenta son: presencia de especies de flora y fauna autóctonas, tamaño de las cañas, cantidad de biomasa aprovechable, características del terreno, época del año, acceso, distancias de transporte, trituración y almacenamiento; mientras que, si se trata de un nuevo establecimiento, las variables se reducen a las propias de los cultivos agroforestales (Navarro et al., 2013).

Por lo anteriormente mencionado, AD presenta un balance energético relativamente alto, con elevada inversión, bajos costos de mantenimiento y alto potencial económico para la producción de biomasa en tierras marginales o poco atractivas. Su cultivo permite además la obtención de subproductos como carbones activados, así como también su conversión en energía por vía termoquímica (Nogar et al., 2021). En la *Figura 1 a)* puede observarse el cultivo de AD utilizado para este trabajo.

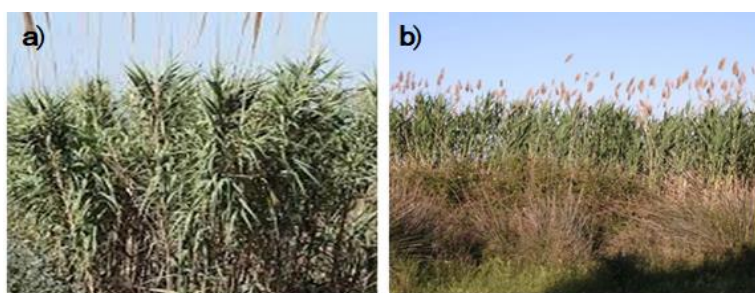


Figura 1 – a) *Arundo Donax* b) *Sorghum Saccharatum* Var E81

Sorghum saccharatum o sorgo azucarado (SS), es una especie gramínea (*Poaceae*) C4 originada en África. Es un cultivo caracterizado por sus altos contenidos de azúcares solubles (sacarosa, fructosa y glucosa) y carbohidratos estructurales (lignina, celulosa y hemicelulosa), y es muy común encontrarlo en climas tropicales y subtropicales (Murray et al., 2009). Su composición se basa principalmente en el 35-50% de celulosa, 20-35% de hemicelulosa, 10-30% de lignina y otros compuestos que se encuentran en cantidades mínimas. El contenido de lignina en la planta favorece su cultivo e influye directamente en el poder calorífico del biocombustible. Sin embargo, dicho contenido también hace que sea más vulnerable a factores bióticos y abióticos.

El tipo de cultivo analizado en este trabajo, corresponde a la variedad M81 de SS, la cual tiene la particularidad de desarrollar poca panoja y cañas que superan los dos metros de altura, siendo así una de las variedades que aporta mayor cantidad de biomasa por hectárea. El rastrojo tiene baja densidad y alto contenido de humedad (Giorda & Colazo, 2017), por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de acondicionamiento de la materia

prima antes de transformar la biomasa en biocombustible. No obstante, para definir el rendimiento del cultivo, se deben tener en cuenta los factores fisiológicos, para lo cual se deben realizar análisis de crecimiento para los ciclos fenológicos del cultivo (Pérez Hernández et al., 2018). Luego de la cosecha, el bagazo (desecho sólido) puede aprovecharse para la obtención de energía eléctrica, biocombustible (etanol de segunda generación), fertilizante orgánico o alimento animal.

Al igual que el AD, es una especie que no compite con los cultivos destinados a la alimentación, además posee una amplia adaptabilidad y tolerancia a las condiciones adversas de producción; estas características junto a sus múltiples aplicaciones como la obtención de azúcar refinada, alcohol, gasolina, entre otros, hace que sea el quinto cereal más cultivado del mundo. La *Figura 1b*) muestra el cultivo de SS utilizado en este trabajo.

Caracterización del material

Durante el desarrollo del trabajo se llevaron a cabo diferentes ensayos fisicoquímicos, para definir las características principales de los AD y SS. Las determinaciones que se detallan fueron realizadas a partir de los rastrojos cosechados y picados en campo, siendo ambos materiales procesados por la misma maquinaria. El material obtenido se secó en un secador flash, hasta un contenido de humedad menor al 10 % p/p en base seca y se almacenó para la realización de diversos ensayos. La *Figura 2* muestra los materiales utilizados para la caracterización.

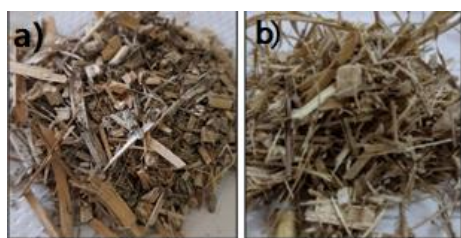


Figura 2 – Materiales picados en campo y secados para almacenamiento inicial. a) AD b) SS

Sobre las muestras obtenidas se realizaron determinaciones de humedad (ASTM Int, 2013), cenizas (ASTM Int, 2001), material volátil (ASTM Int, 2019) y materia orgánica. Se midieron además volumen y densidad aparente del rastrojo picado. Se determinó materia extraíble, de manera continua mediante extracción en un equipo soxhlet, utilizando H₂O y CH₂OH absoluto (Anedra), por un período de 6 h. El contenido de extraíbles se utilizó para la determinación de lignina insoluble por método Klason, considerando la diferencia de peso del rastrojo sometido a un proceso de digestión con H₂SO₄ 72 % p/p (TAPPI/ANSI T 222 om-21).

Con los valores obtenidos de los ensayos fisicoquímicos, se calculó el porcentaje de carbono fijo (1) y el poder calorífico superior (PCS). La determinación del poder calorífico superior (PCS) se realizó de manera analítica mediante la aplicación de la fórmula de Küçükbayrak, donde se considera el contenido de volátiles y cenizas para estimar el mismo en relación con su contenido de lignina. Su ecuación (2) asume que el PCS es función polinómica de la materia volátil (VM) y de la ceniza (A) (Küçükbayrak et al., 1991).

$$CF = 100 - C - H - V \quad (1)$$

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

La tabla 1 muestra los valores obtenidos para los diversos análisis fisicoquímicos.

Tabla 1. Valores obtenidos de los diferentes análisis.

	Humedad (%)	Cenizas (%)	Volátiles (%)	Carbono fijo (%)	Extraíbles (%)	Lignina (%)	Densidad aparente (Kg/m ³)	PCS (MJ/Kg)
AD	6,169	7,95	79,47	6,411	14,83	28	109,719	16,639
SS	3,19	10,64	83,97	2,2	18,404	28,43	190	16,493

Los resultados obtenidos muestran que la cantidad de lignina en ambos cultivos es de aproximadamente 28 %. Resulta interesante destacar que los cultivos analizados fueron desarrollados por EEA INTA Manfredi, y fueron cosechados en el mismo momento (agosto de 2022), por lo que las condiciones climáticas, de nutrición y estrés a la que los cultivos estuvieron sometidos, fueron análogas. Así mismo, la literatura reporta una variación importante en torno al porcentaje de lignina evaluado en diversas regiones del país, por lo cual puede inferirse que, independientemente de la especie analizada, la principal causante de estas diferencias corresponde mayoritariamente a la disponibilidad de nutrientes en el primer período de crecimiento (Nogar et al., 2021). Así, ante la semejanza en el PCS, la posibilidad de selección entre un cultivo u otro para ser aprovechado para la generación de combustible, radica entonces en las capacidades de los mismos para adaptarse al lugar de implantación, su interacción con el entorno ecosistémico y los costos asociados al proceso productivo.

Luego del análisis comparativo de los cultivos, son muchas las variables a considerar para determinar el uso de uno u otro como alternativa para la producción de biocombustibles. Si bien se remarca el alto potencial energético que tiene AD reconocido como una especie referente en el mundo de la bioenergía (Abreu et al, 2020), con características que implican menor uso de fertilizantes y herbicidas; desde el punto de vista ecológico resulta una especie altamente invasora, pudiendo alterar el sistema biológico constituido donde se decida implantar. Aun así, los cañaverales representan un espacio para la proliferación de fauna autóctona mediante el anidamiento de aves. Por otra parte, SS es una especie que no compite con cultivos destinados a generar alimentos, su uso es fundamental para generar rotaciones de cultivos óptimas que tiene implicancias positivas sobre el suelo y la sustentabilidad de cualquier sistema agrícola (Alvarez, 2006). La biomasa de SS y sus derivados han sido identificados como una de las alternativas más promisorias para la producción de biocombustibles y otros productos con bajas o neutras emisiones de carbono.

En virtud de lo analizado hasta aquí, es importante tener en cuenta también que las especies estudiadas, fueron sembradas y cosechadas en la EEA INTA Manfredi, localidad ubicada en el Departamento Río Segundo a unos 230 kilómetros de la ciudad de San Francisco. Si bien, ambas regiones tienen similitudes en el mapa de cobertura y usos del suelo de la Provincia de Córdoba, se debería profundizar el análisis comparativo con el Departamento San Justo para determinar de las zonas aptas para desarrollar cada uno de los cultivos, sin perjudicar los ecosistemas ya constituidos. Las interesantes potencialidades de estas especies, permiten considerarlas para la generación de combustibles de segunda generación de manera eficiente, sustentable, pensados en contexto con su entorno socioproductivo y capaces de generar alternativas sostenibles frente a la problemática energética.

Conclusión

Los cultivos lignocelulósicos no empleados para fines alimenticios, por sus particulares características, se convierten en grandes potenciales para la producción de biocombustibles. Además, a estos beneficios se le suma la capacidad de requerir menor cantidad de fertilizantes y de agua en comparación con otros cultivos. Su implantación no representa impactos negativos en el uso del suelo, debido a que mitigan la deforestación y la tala desmedida de bosques nativos por su gran capacidad de generación de biomasa por hectárea.

AD, en su desarrollo brinda diversos nutrientes a la tierra pero sus raíces, a diferencia de SS, se expanden convirtiéndose en una planta invasora que podría alterar la flora y fauna de la región. El cultivo de AD, en su primera etapa, debe mantener ciertas consideraciones para que desarrolle la mayor cantidad de biomasa posible, sin embargo, luego se vuelve resistente a los climas desfavorables, con buena productividad durante largos períodos. SS, que puede cultivarse en diversas condiciones, incluso en suelos adversos, tiene un menor ciclo productivo y aporta beneficios en la rotación del esquema agrosistémico. Los PCS de los cultivos sembrados en igualdad de condiciones, son equivalentes entre sí y comparativos a su vez al de la madera de pino. Sumado a esto, sus características fisicoquímicas semejantes los vuelven adecuados para ser utilizados como combustible sólido en procesos termoquímicos de generación de energía en reemplazo de los combustibles tradicionales. Presentando una única diferencia significativa en su densidad aparente lo que implicaría una necesaria optimización en el proceso de densificado de AD respecto del de SS. Asimismo, si se orientara a la generación de energía, el mayor contenido de cenizas de SS deberá tenerse en cuenta en la selección del método termoquímico.

Dada la complejidad y multidimensionalidad que presenta la formulación de políticas públicas y el desarrollo de los agentes productivos sobre biocombustibles, es importante visibilizar información adecuada sobre cultivos energéticos para facilitar la toma de decisiones, garantizando la sostenibilidad social, económica y medio ambiental.

Agradecimientos

Agradecemos a EEA INTA Manfredi por la provisión del material y a UTN por el financiamiento mediante el proyecto PID ENPPBSF0008448, desarrollado en el ámbito del grupo de I+D CIDEME, Facultad Regional San Francisco.

Referencias

- Alvarez, R. (2006). Balance De Carbono En Los Suelos. *Publicación Miscelánea*, 105, 36–43.
- Bragachini, M., Mathier, D., Sosa, N., Bragachini, M., & Mendez, J. M. (2015). Oportunidades de la bioenergía en el sector agropecuario: efluentes y cultivos energéticos. *Producción Animal*, 5.
- Dragusanu, V., Lunguleasa, A., Spirchez, C., & Scriba, C. (2023). Some Properties of Briquettes and Pellets Obtained from the Biomass of Energetic Willow (*Salix viminalis* L.) in Comparison with Those from Oak (*Quercus robur*). *Forests*, 14(6), 1134.
- Giorda, L., & Colazo, J. L. (2017). *Biomasa Energética de Sorgo en Ubajay (Entre Ríos)*. INTA Manfredi y el Sorgo: Nuevos Desarrollos (Issue 1).
- Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., & Paniagua, P., (2012). Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad. Transbioma, ITAGRA.CT, ISBN 978-84-931891-5-0
- Kalak, T. (2023). Potential Use of Industrial Biomass Waste as a Sustainable Energy Source in the Future. *Energies*, 16(4).
- MAGyP. (2023). *Situación actual de la industria forestal - Informe 2021*.
- Murray, S. C., Rooney, W. L., Hamblin, M. T., Mitchell, S. E., & Kresovich, S. (2009). Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height. *The Plant Genome*, 2, 48–62.
- Navarro, P., Iglesias, C., & Catala, R. (2013). Potencialidad de uso de *Arundo Donax* como biocombustible sólido. In S. E. de C. Forestales (Ed.), *6° Congreso Forestal Español* (pp. 1–13). ISBN 987-84-937964-9-5
- Nogar, A. G., Rodríguez, L. D., Bongiorno, C.-V., & Santalla, E. M. (2021). Las potencialidades bioenergéticas del *Arundo Donax* L. en Argentina. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 30, 84–104.
- Pelegrín Muelas, M. (2015). Desarrollo de bioproductos de *Arundo Donax* L. orientados al secuestro de carbono y reducción de la pérdida de biodiversidad. *Revista Doctorado UMH*, 1(1), 6.
- Pérez Hernández, A., Quero Carrillo, A. R., Escalante Estrada, J. A. S., Rodríguez González, M. T., Garduño Velázquez, S., & Miranda Jiménez, L. (2018). Fenología, biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en valles altos. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 107–117.
- Saez Ramirez, M. (2017). Uso de *Arundo Donax* L. ecotipo “costa verde” en condiciones de estrés hídrico para la producción de biomasa. Tesis de Ingeniería, Universidad Científica del Sur, Perú.
- Viana Otero, M. V., & Siri Prieto, G. (2018). Producción de biomasa de cultivos lignocelulósicos según el número de cortes. *Agrociencia*, 22(2), 1–11.