

## EVALUACIÓN DE ARUNDO *DONAX* L. COMO BIOCOMBUSTIBLE PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA

**N. Pereyra Müller, A. Manzur, E. Santalla y V. Córdoba**

Centro de Tecnologías Ambientales y Energía (cTAE), INTELyMEC, Facultad de Ingeniería  
Univ. Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires  
Av. Del Valle 5737, 7400 Olavarría  
[www.fio.unicen.edu.ar](http://www.fio.unicen.edu.ar) (54) (2284) 41055, interno 282. E mail [vcordoba@fio.unicen.edu.ar](mailto:vcordoba@fio.unicen.edu.ar)

Recibido: 31/08/2021; Aceptado: 31/10/2021.

**RESUMEN.-** Se estudió el comportamiento de Arundo *donax* L., cultivo perenne conocido como caña de Castilla, que puede crecer en una amplia variedad de suelos, como potencial biocombustible para uso directo como fuente de energía térmica. Se determinó contenido de humedad, cenizas, sólidos volátiles, composición química y elemental y poder calorífico utilizando técnicas estándares sobre muestras de fardos de biomasa. Se evaluó el comportamiento térmico a partir de la combustión directa en equipo convencional de uso doméstico. Se analizó la eficiencia del proceso a partir de la prueba de ebullición del agua y se midieron las emisiones gaseosas en forma comparativa con otras biomásas convencionales. Los resultados del estudio indicaron que Arundo *donax* L. presenta un poder calorífico superior de 19,1 MJ/kg y una composición elemental con más de 45% de carbono. El test de ebullición de agua mostró para esta biomasa el menor tiempo (28 min) y consumo de combustible (1119 g/L) y la mayor velocidad de combustión (90,2 g/min) respecto a otras biomásas convencionales, mientras que el perfil de gases de combustión reveló emisiones de CO<sub>2</sub> similares a pellets y leña (2,2%), porcentaje de CO inferior a marlos, aunque algo inestable en el tiempo y baja emisión de NO<sub>x</sub> (22,5 ppm).

**Palabras claves:** Arundo *donax* L. Bioenergía. Cultivos perennes. Emisiones. Sostenibilidad. Trazabilidad.

## EVALUATION OF ARUNDO *DONAX* L. AS A BIOFUEL FOR THERMAL ENERGY PRODUCTION

**ABSTRACT.-** The behavior of Arundo *donax* L., a perennial crop known as *Caña de Castilla*, which can grow in a wide variety of soils, was studied as a potential biofuel for direct use as a source of thermal energy. Moisture content, ash, volatile solids, chemical and elemental composition and calorific value were determined using standard techniques on samples of biomass bales. The thermal behavior was evaluated from direct combustion in conventional equipment for domestic use. The efficiency of the process was evaluated from the Water Boiling Test and the gaseous emissions from combustion were measured in comparison with other conventional biomass. The results of the study indicated that Arundo *donax* L. has a higher calorific value of 19.1 MJ/kg and an elemental composition with more than 45% carbon. The Water Boiling Test showed the shortest time (28 min) and fuel consumption (1119 g / L) and the highest combustion rate (90.2 g/min) compared to other conventional biomass, while the combustion gas profile showed CO<sub>2</sub> emissions similar to pellets and firewood (2.2%), lower percentage of CO than marlos, although somewhat unstable over time, and low NO<sub>x</sub> emissions (22.5 ppm).

**Keywords:** Arundo *donax* L. Bioenergy. Emissions. Perennial crops. Sustainability. Traceability

### 1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética ha profundizado las explotaciones de combustibles fósiles no convencionales, lo que, sumado a las actividades antropogénicas relacionadas a la producción y uso de energía fósil, se han convertido en la causante principal del cambio climático (Pop et al., 2011; Craggs y Gilbert, 2018). Este escenario reclama una intensa y eficaz búsqueda de nuevas fuentes de energía limpia, en la cual los biocombustibles han demostrado ocupar un lugar relevante (Rodionova et al., 2017; Chum et al. 2011), pero que aún reclama intensificar la investigación y el desarrollo de conocimiento.

La utilización de biomasa con fines energéticos es un área no suficientemente explotada en Argentina, a pesar del contexto actual de promoción y uso de energías renovables. Un estudio desarrollado en 2009 y actualizado en 2020 a través del mapeo de oferta y demanda de dendro-combustibles reforzó la noción de que el país tiene un gran potencial bioenergético debido al volumen y amplia variedad de fuentes de biomasa seca y húmeda susceptible de producir energía renovable (FAO, 2020). Sin embargo, la alta dispersión geográfica de las mismas y su baja densidad, sumado al elevado contenido de humedad al cosecharlas o recolectarlas, son problemáticas a resolver al momento de evaluar su factibilidad técnico-económica (Whittaker y Shield, 2018).

Arundo *donax* L. (AD) comúnmente conocida como *Caña de Castilla*, es una biomasa lignocelulósica perenne que puede crecer en una amplia variedad de suelos, que, además, presenta un balance de energía positivo y una elevada productividad por hectárea (Pompeiano et al., 2013). La producción de energía a partir de este tipo de cultivo en la zona centro de la provincia de Buenos Aires aparece como una opción interesante aún no explorada en su totalidad, aunque surgen algunos interrogantes a resolver, más allá de las múltiples ventajas que puede representar la posibilidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) al sustituir el uso de combustibles fósiles y no competir en el uso de tierra agrícola para la producción de alimentos. Uno de los principales desafíos es determinar las prácticas agronómicas y tecnológicas que optimicen su productividad y uso. Al respecto, abunda literatura científica, principalmente en Italia, donde se han identificado las condiciones que optimizan la producción de biomasa por hectárea de este cultivo (Angelini et al., 2009; Mantineo et al., 2009; Pilú et al., 2013). En nuestro país, hay algunos trabajos que revelan que esta gramínea perenne de alta eficiencia fotosintética podría ser explotada en una vasta región de Argentina (Falasca et al., 2011), aunque aún su cultivo es incipiente (Barrado et al., 2019). En un trabajo interdisciplinario con investigadores de la Facultad de Agronomía (UNCPBA) que han desarrollado varios años de ensayos a campo en la región centro de la provincia de Buenos Aires (Azul y Olavarría), y donde obtuvieron promisorios rendimientos en materia seca de hasta 18,2 t/ha en ciclos de cultivo ya implementado (Rodríguez et al., 2021), se han investigado opciones tecnológicas para su utilización. En relación a esto, se ensayaron fardos de AD como biocombustible en un horno de cemento, obteniendo resultados altamente satisfactorios desde el punto de vista tecnológico, para la sustitución de combustible fósil en esta actividad industrial (Córdoba et al., 2021a) y también se estudió la pérdida de humedad a campo con fines de optimizar costos durante la post-cosecha (Córdoba et al., 2021b).

Según el último Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010 (INDEC) el 96,96% de la población del país utiliza como fuente de combustible el gas natural, mientras que 2,64% utiliza leña y carbón para cocción de alimentos y calefacción. Un estudio realizado en 2020 (de Bedia y Sacchi, 2020) revela que las provincias del centro norte de Argentina concentran más del 90% de los hogares que emplean leña o carbón de madera como principal combustible para cocinar. Otro informe realizado desde la EEA INTA Santiago del Estero (de Bedia et al., 2021) sobre la producción y consumo de leña y carbón, revela que, según el Programa Nacional de Estadística Forestal de la Dirección de Bosques (SAyDS) los bosques nativos abastecieron, durante el período 2001-2011, aproximadamente 4 millones de toneladas por año de madera, 85% proveniente del monte chaqueño, cuyo 75% se destinó a la producción de leña y de la cual 46% se transformó en carbón. El mismo informe destaca que, a pesar de que la tendencia mundial es positiva, en Argentina se ha registrado una merma de 9,7% en la producción de estos recursos durante el período 2007-2017, destacando la necesidad de generar información estadística con mayor grado de precisión sobre estas producciones y consumos, aportar visibilidad y legalidad a la producción ya que existe dificultad para registrar los productos dendroenergéticos, dado el alto grado de informalidad del mercado y la complejidad de las cadenas de valor asociadas, principalmente a la producción y comercialización del carbón.

Por otro lado, existen tierras de cultivo que no califican para la explotación de cultivos alimenticios pero que cubren los requerimientos de un cultivo perenne rústico como es AD. Estudios preliminares de rendimiento de AD al segundo año desde su implantación mostraron rendimientos desde 5,1 t/ha (en suelos no aptos para la agricultura, sin fertilización ni riego), hasta 11 t/ha (iguales condiciones pero con riego) y 18,2 t/ha (con fertilización y riego) con potencial de incremento hasta el quinto año desde su implantación, mostrando alta plasticidad para compensar ambientes y recursos (Rodríguez et al., 2021). Un rendimiento incremental en el tiempo, sumado a la disponibilidad de prácticas convencionales desarrolladas localmente para la producción y manejo del cultivo (Rodríguez et al., 2021; Córdoba et al., 2021a) permite disponer de herramientas que contribuirían a promover el desarrollo de una nueva cadena de valor vinculada a este cultivo energético, que presenta múltiples componentes de sostenibilidad.

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de biomasa de AD en un proceso de combustión directa en equipos convencionales de uso residencial, con la finalidad de evaluar su viabilidad en términos de eficiencia energética y de la calidad de aire de combustión, realizando una valoración comparativa con otras biomásas convencionales como pellets de pino, marlos y leña. El objetivo último es ofrecer una herramienta para posibilitar el desarrollo de este cultivo energético con una trazabilidad asegurada y que contribuiría a mitigar el impacto del desmonte de bosque nativo.

## 2. METODOLOGÍA

La caracterización química de AD se realizó tomando muestras por cuarteo a partir de la cosecha del material secado a campo. Se determinó la composición elemental de la biomasa de AD en un equipo marca Leco® CHN628 Series, Sulfur Add-On Module and TruSpec MicroOxygen Add-On Module Elemental Determinators. Se utilizaron normas de la serie ASTM para la determinación de humedad (D 4442-92 R03), cenizas (ASTM D 1102-84 R01) y materia volátil (ASTM E 872-82 R98) tanto de AD como de las biomásas que se utilizaron para comparar el proceso: marlos de choclo, pellets de pino y leña comercial. Se determinó la composición química de AD en términos de lignina (ASTM 1106-96), celulosa (ASTM 1695-77), y holocelulosa (ASTM D 1105-96), a partir de la cual se calculó el poder calorífico superior y se lo comparó con el valor experimental obtenido utilizando bomba calorimétrica. Para evaluar la eficiencia del proceso de combustión de AD se utilizó la prueba de ebullición de agua (WBT) según Bailis et al. (2007), ampliamente utilizada para mejorar el diseño de cocinas. Las pruebas de combustión se realizaron en un equipo de uso doméstico tipo salamandra (Fig. 1) donde se utilizaron iguales cantidades de cada biomasa, cargadas paulatinamente a medida que se consumían, con la finalidad de mantener una masa constante para la combustión. AD se cargó en fardos armados ad hoc con cañas secas (Fig. 1). Los ensayos se realizaron por duplicado y en cada uno se midieron las emisiones de los gases de combustión a través de un orificio en la chimenea de salida, utilizando un equipo Testo 350XL (Fig. 1) que dispone de sistema de medición de presión diferencial a través de tubo pitot, sensores de temperatura y de concentración de CO (ppm), CO<sub>2</sub> (%), O<sub>2</sub> (%) y NO<sub>x</sub> (ppm).



Fig. : Fardos de AD caracterizados previos a la combustión, equipamiento utilizado e instrumental para la medición de los gases de combustión

Los resultados de la prueba de ebullición de agua se analizaron a partir de la determinación de los siguientes parámetros:

- volumen de agua vaporizada ( $W_v$ ) según:

$$W_v \text{ (mL)} = ( \text{[Volumen de Agua]}_{\text{inicial}} - \text{[Volumen de Agua]}_{\text{final}} ) \quad (1)$$

- volumen efectivo de agua hervida ( $W_h$ ) según:

$$W_h \text{ (mL)} = \text{Volumen de Agua}_{\text{final}} \quad (2)$$

- tiempo hasta alcanzar el hervor según:

$$\Delta t = t_f - t_i \quad (3)$$

donde  $t_f$  y  $t_i$  corresponden a los tiempos de finalización e inicio de la prueba

- combustible equivalente seco utilizado según:

$$\text{Combustible Seco Utilizado} = f_{cm}(1 - MC) \quad (4)$$

donde  $f_{cm}$  corresponde al combustible consumido (g) y  $MC$  al contenido de humedad en base húmeda del combustible

- energía requerida para remover la humedad de la biomasa según:

$$\Delta E_{H_2O} = f_{cm} * MC(4,186(T_b - T_a) + 2,257) \quad (5)$$

donde  $T_a$  y  $T_b$  corresponde a la temperatura ambiente y temperatura de ebullición del agua determinada experimentalmente, respectivamente.

- y la velocidad de combustión según:

$$\text{Velocidad de combustión (g/min)} = \frac{f_{cm}}{t} \quad (6)$$

donde  $t$  corresponde al tiempo total de la experiencia de combustión.

### 3. RESULTADOS

Los resultados del análisis químico y elemental de AD se muestran en la Tabla 1 para muestras obtenidas a partir de cultivos controlados en las ciudades de Azul y Olavarría de la provincia de Buenos Aires. Si bien se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) por ambiente para celulosa y hemicelulosa pero no para lignina, las mismas se encuentran en el rango de valores reportados por Shatalov y Pereira (2006) para AD. Los valores resultaron superiores respecto a otras biomásas como cáscara de arroz, aunque más próximos a algunas maderas como *Fagus ssp* (Bustamante García et al., 2016). Los resultados de la composición elemental muestran que AD presenta un alto contenido de carbono e hidrógeno, en correspondencia con una composición predominante de polisacáridos diversos. Según Shatalov y Pereira (2006) la composición de AD se asemeja más a la de pastos que a madera, conteniendo menores concentraciones de lignina y celulosa y predominancia de pentosanos.

Tabla 1: Composición elemental y química de Arundo donax L. y biomásas comparadas 1 Ramos e Paula et al. (2011); 2 Arranz et al. (2015)

Composición química de AD		% celulosa	% hemicelulosa	% lignina
	Azul	48,3 ± 0,9	46,1 ± 2,5	27,7 ± 4,2
	Olavarría	58,7 ± 2,8	20,9 ± 2,6	32,5 ± 12,5
Composición elemental				
	% N	% C	% H	% S
Arundo donax L.	0,66 ± 0,2	45,8 ± 0,5	5,9 ± 0,13	0,11 ± 0,03
Marlos de choclo <sup>1</sup>	0,5	45,5	6,7	0,3
Pellets de pino <sup>2</sup>	0,06	47,08	6,15	0,008

Se determinaron las propiedades físico-químicas de AD y del resto de las biomásas convencionales, las cuales se muestran en la Tabla 2. Se observa que los marlos y la leña presentan un contenido de humedad similar entre ellos y superior a las otras biomásas, AD (10,0%) y pellets (7,44%). Por su lado, AD mostró menor contenido de cenizas que la leña en contraposición a lo mencionado por Shatalov y Pereira

(2006), aunque los valores para AD resultaron similares. El poder calorífico superior (PCS), calculado en base a la composición de la Tabla 1, resultó en similar rango al resto de las biomásas utilizadas para la generación de energía térmica y a otras biomásas como *Miscanthus* sp., *Shorgum* sp., *Cynara Cardunculus* y *Populus* sp. (Manzanares, 1997).

Tabla 2: Características físico-químicas de las biomásas estudiadas  
<sup>1</sup>Ramos e Paula et al. (2011); <sup>2</sup>Arranz et al. (2015)

	% Humedad	% cenizas	% volátiles	PCS, MJ/kg	PCI, MJ/kg
AD	10,0 ± 0,12	3,86 ± 0,006	91,7 ± 0,14	19,1 ± 0,53	16,2 ± 0,35
Marlos de choclo	13,3 ± 0,27	2,79 ± 0,000	97,2 ± 0,15	19,3 <sup>1</sup>	17,6 <sup>1</sup>
Pellets	7,44 ± 0,05	0,6 ± 0,001	99,6 ± 0,08	21,0 <sup>2</sup>	19,4 <sup>2</sup>
Leña de piquillín	13,3 ± 0,18	9,03 ± 0,0006	93,6 ± 0,82		

El valor experimental del PCS obtenido a partir de ensayos calorimétricos de AD resultó 18,8 MJ/kg, apenas 1,6% menor al obtenido a partir de la composición química. Tanto este valor como el PCI (poder calorífico inferior) evidencia la potencialidad de este cultivo como fuente renovable de energía, principalmente si se lo compara con otros combustibles fósiles como el carbón de coque (13,4 MJ/kg) y otras biomásas como cáscara de arroz (9,6 MJ/kg), de girasol y de maní (15,5-16,3 MJ/kg; Beljansky 2013) u otras como los pellets de pino (21,0 MJ/kg; De Ramos e Paula et al., 2014), o marlos de choclo (19,3 MJ/kg; Arranz et al., 2015).

Los resultados de la prueba de ebullición de agua se obtuvieron a partir de medir los parámetros de las ecuaciones 1 a 6 para cada ensayo de combustión de cada biomasa, por duplicado. El tiempo requerido por cada biomasa para alcanzar la temperatura de ebullición del agua se muestra en la Fig. 2, donde se observa que AD requirió un tiempo de 28 minutos, resultado significativamente menor al obtenido con pellets (60 min), leña de piquillín (67 min) y marlos de choclo (80 min). Respecto al consumo de combustible requerido para alcanzar la ebullición del agua, AD mostró un comportamiento favorable registrando un consumo promedio de 1119 ± 69 g/L, el que resultó significativamente menor al resto de las biomásas estudiadas, principalmente a marlos que requirió 110% más cantidad de material (2360 ± 42 g/L). Tanto AD como pellets de pino mostraron menor consumo de energía para evaporar la humedad de la biomasa como resultado de su menor contenido de humedad (Fig. 3). También la velocidad de combustión resultó un parámetro favorable para AD ya que reveló el mayor valor (90,2 g/min) resultando 33,2, 40,6 y 47% más rápida la liberación de energía por unidad de tiempo respecto a marlos, pellets y leña respectivamente.

A partir de los valores similares del poder calorífico de las biomásas estudiadas (Tabla 2), cabría esperar un comportamiento equivalente en relación al consumo de material para alcanzar igual temperatura final de agua; sin embargo, la figura 3 revela que no hay una correlación directa entre el poder calorífico y la cantidad de combustible consumido, tal como lo observado por León Abad (2017) cuando estudió briquetas de aserrín y bagazo de caña de azúcar en la prueba de ebullición del agua. Según Onuegbu et al. (2011), la velocidad de combustión y el poder calorífico de la biomasa son dos factores que combinados controlan el tiempo de evaporación de agua, pero que por sí solo el poder calorífico no es un factor determinante.

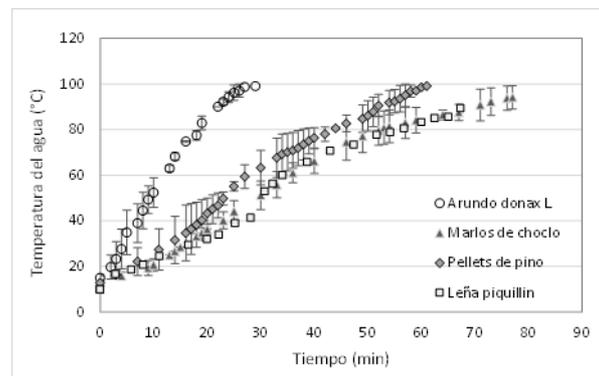


Fig. 2: Resultados de la prueba de ebullición del agua para las biomásas estudiadas

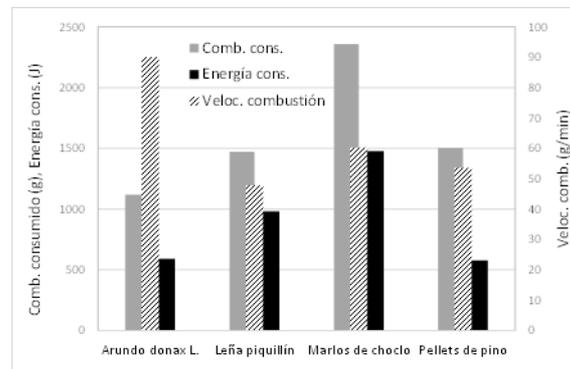


Fig. 3: Parámetros medidos de la prueba de ebullición del agua

Las emisiones que resultan de la combustión de AD se analizaron en relación a cómo afectarían la calidad del aire ya que es importante destacar que no constituyen emisiones de GEIs por ser biogénicas. Esto reviste mucha importancia en casos que el AD sea utilizado como sustituto parcial de algún combustible fósil, tal como se demostró en un trabajo previo (Córdoba et al., 2021a), ya que contribuiría a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y por lo tanto a diversificar la disponibilidad de recursos renovables que mitigan los efectos adversos del cambio climático.

La concentración de emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> de los gases de combustión de las biomásas estudiadas se muestra en la figura 4. La adquisición de datos se llevó a cabo durante

un periodo aproximado de 3 a 5 min una vez que el proceso de combustión había alcanzado régimen estable. Se muestra la evolución temporal de las emisiones durante un tiempo aproximado de 150 seg y los boxplots para cada gas, los que analizan un periodo de tiempo mayor (aproximadamente 600 seg). Estos diagramas muestran la mediana, la media aritmética, los cuartiles de datos y los valores máximos, mínimos y valores atípicos si los hubiera. Se observa que los marlos de choclo produjeron mayores emisiones de CO<sub>2</sub> con

un máximo de 4,3% a los 60 seg, mientras que el resto de las biomazas mostraron menores valores. Esto se puede observar también en el diagrama boxplot, donde los valores medios de emisión resultaron 2,2%, 3,8%, 1,3% y 1,98% para AD, marlos, pellets y leña respectivamente. Los valores medidos en este trabajo para pellets resultaron ligeramente inferiores a los reportados por Arranz et al. (2015) quienes observaron emisiones de CO<sub>2</sub> en un rango entre 2,3 a 3,9%, aunque la variación depende del material del pellet.

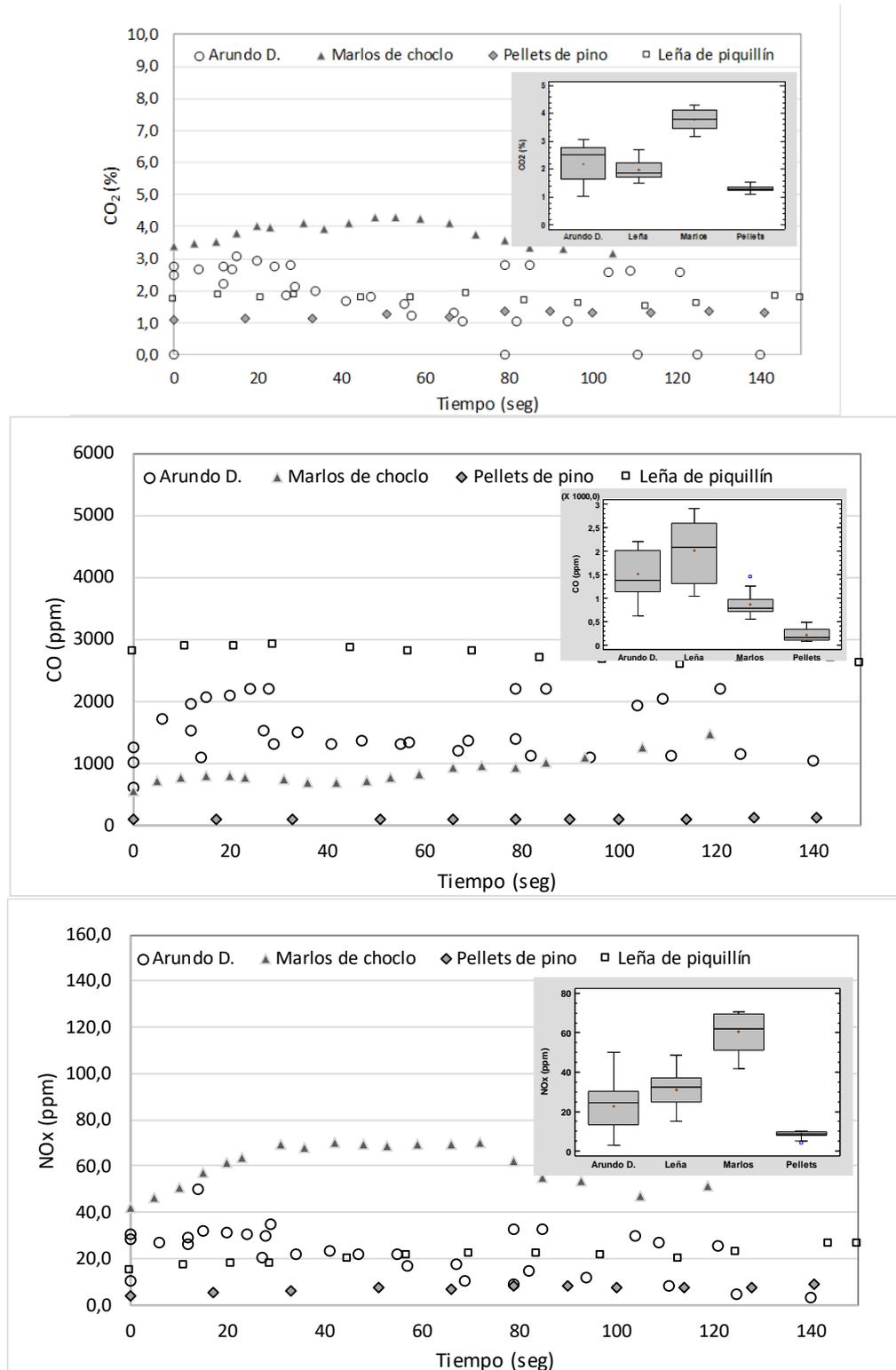


Fig. 4: Porcentaje de CO<sub>2</sub> y emisiones de CO y NOx (ppm)

Con respecto a las emisiones de CO, la leña de piquillín generó mayor volumen promedio de emisiones (2015 ppm), seguida por AD (1516 ppm), marlos (968) y pellets (335 ppm). A excepción de AD, cuyas emisiones de CO oscilaron entre los 622 y 2208 ppm, el resto de las biomásas mostraron concentración de CO bastante estable a lo largo del tiempo. Arranz et al. (2015) reporta emisiones de CO para pellets entre 225 y 2000 ppm según la procedencia del pellet analizado. En cuanto a las emisiones de NO<sub>x</sub>, cada biomasa mostró un comportamiento diferente: en los marlos de choclo, se observó un incremento con el tiempo hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 70 ppm para luego disminuir, alcanzando un valor promedio 60,5 ppm, valor significativamente superior a AD (22,5 ppm) y a pellets de pino (8,6 ppm). Para iguales condiciones del aire de combustión como fue el caso de estos ensayos, las emisiones de NO<sub>x</sub> están relacionadas con el contenido de nitrógeno de la biomasa. De la Tabla 1 se puede observar que los pellets de pino contienen un porcentaje de nitrógeno de aproximadamente un orden de magnitud menor respecto a marlos y AD. En términos generales, los pellets de pino mostraron menor concentración de emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que el resto de las biomásas analizadas, lo que puede explicarse a partir del proceso de densificación aplicado. Esta tecnología de pelletización puede ser un paso siguiente para valorizar AD a escala de mercado, una vez demostrada la viabilidad técnica como recurso energético.

### CONCLUSIONES

El estudio de Arundo *donax* L. a través de la determinación de sus características físicas, químicas y térmicas, demostró la capacidad de este cultivo para ser utilizado como una biomasa con fines energéticos, ya que presenta un PCI similar a otras biomásas convencionales. Por otra parte, el análisis de su comportamiento frente a la combustión mostró ser una biomasa eficiente para la producción de energía térmica, presentando parámetros satisfactorios en la prueba de ebullición del agua y un perfil de emisiones adecuado.

Estos resultados preliminares demostraron el potencial de desarrollo que tendría una cadena de valor basada en Arundo *donax* L., cultivo lignocelulósico perenne, cuya vida útil una vez implantado permanece por muchos años y además no compete con suelos agrícolas para la producción de alimentos. Estas características le otorgan un alto grado de sostenibilidad como cultivo energético para la producción de energía térmica, además de ofrecer mayor trazabilidad que la leña de uso actual.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a SECAT (UNCPBA) Programa de Fortalecimiento a la Ciencia y la Tecnología en las Universidades Nacionales II y al equipo de la Facultad de Agronomía, principalmente al Ing. Juan M. Ressa, Dra L. Lázaro y equipo Arundo, por la provisión de las muestras de Arundo *donax* L. y marlos utilizadas en el presente estudio y también a la Facultad de Ingeniería (UNCPBA) por la Beca de Iniciación Científica Tecnológica al alumno Nahuel Pereyra Müller.

### REFERENCIAS

Angelini L, Ceccarini L, Nassi o Di Nasso N, Bonari E. (2009). Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy:

- Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, **33**, 635–643.
- Arranz J, Miranda M, Montero I, Sepúlveda F, Rojas C. (2015). Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel* **142**, 199-207.
- Bailis R, Ogle D, MacCart N, Still D. (2007). Household Energy and Health Programme, Shell Foundation. Recuperado de: <https://docplayer.net/12389529-The-water-boiling-test-wbt.html>.
- Barrado N, Elizalde F, Rodríguez D, Laddaga J, Hernández G, Bongiorno C, Vilatte C, D'Alfonso C, Aguas L, Confalone A. (2019). Arundo donax, una alternativa para producir energía en el centro de la provincia de Buenos Aires. *IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Florencio Varela, p. 176.
- Beljansky M. (2013). Tecnologías disponibles para la generación de energía a partir de biomasa. *4to Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Iguazú.
- Bustamante García V, Carrillo Parra A, Prieto Ruíz J, Corral Rivas J, Hernández Díaz J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. **7** (38) 5-24.
- Chum H, Faaij A, Moreira J, Berndes G, Dharmija P, Dong H, Gabrielle B, Goss Eng A, Lucht W, Mapako M, Masera Cerutti O, McIntyre T, Minowa T, Pingoud K. (2011). Bioenergy. En IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. pp 209-309. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>.
- Córdoba V, Manzur A, Santalla E. (2021a). Evaluación tecnológica del potencial energético y ambiental del arundo donax L. *III Jornadas Internacionales y V Nacionales de Ambiente 2021*. Modalidad virtual. UNM-UNHUR 12-14 mayo 2021.
- Córdoba V, Manzur A, Santalla E. (2021b). Drying kinetics and mathematical modelling of Arundo donax L. canes, a potential renewable fuel. En *revisión en J. Sc. & Ind. Res.*
- Craggs L, Gilbert P. (2018). Reductions From Bioenergy Systems — Climate Change: A Bioenergy Driver and Constraint. *Greenhouse Gases Balance of Bioenergy Systems*. Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-08-101036-5.00001-X. pp. 1-10. Academic Press.
- De Bedia G, Sacchi P. (2020). Consumo de leña y/o carbón de madera como combustible para la cocción de alimentos en hogares argentinos. Technical Report. DOI: 10.13140/RG.2.2.34083.89128.
- De Bedia G, Gómez A, Merletti J. (2021). Leña y carbón vegetal producción y consumo en Argentina y el mundo. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/346011858>.
- De Ramos e Paula L, Trugilho P, Napoli A, Bianchi M. (2011). Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Cerne* **17**, 237-246.
- Falasca S, Flores N, Galvani G. 2011. ¿Puede usarse una especie invasora como Arundo donax (caña común) con fines energéticos en Argentina? INTA N° Doc BC-INF-07-11.
- FAO. (2020). Actualización del balance de biomasa con fines energéticos en la Argentina. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (UTF/ARG/020/ARG).
- León Abad M. (2017). Evaluación del desempeño de estufas mejoradas portátiles operadas con combustibles sólidos alternativos. Proyecto de graduación. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

- Mantineo M, D'Agosta G, Copani V, Patané C, Cosentino S. (2009). Biomass yield and energy balance of three perennial 7 (2) crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Fields Crops Research*, **114**, 204-213. doi:10.1016/j.fcr.2009.07.020
- Manzanares P. (1997). Introducción al cálculo del balance energético de la producción de biomásas. Ciemat. Informes Técnicos. No. 839.
- Onuegbu T, Ekpunobi U, Ogbu I, Ekeoma M, Obumselu F. (2011). Comparative studies of ignition time and water boiling test of coal and biomass briquettes blend. *IJRRAS* 7 (2) 153-159.
- Pilu R, Manca A, Landoni M. (2013). Arundo donax as an energy crop: pros and cons of the utilization of this perennial plant. *Maydica*, **58**, 54-59.
- Pompeiano A, Guglielminetti L, Bargiacchi E, Miele S. (2013). Responses in chemical traits and biomass allocation of Arundo donax L to deficit resources in the establishment year. *Chilean J. Agric. Res* **73**, 377-384.
- Popp A, Dietrich J, Lotze-Campen H, Klein D, Bauer N, Krause M, Beringer T, Gerten D, Edenhofer O. (2011). The economic potential of bioenergy for climate change mitigation with special attention given to implications for the land system. *Environmental Research Letters*. **6**, 34017.
- Ramos e Paula L, Trugilho P, Napoli A, Bianchi M. (2011). Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. *Revista Cerne*. **17**, 2, 237-246. Lavras, Minas Gerais, Brasil.
- Rodionova M, Poudyal R, Tiwari I, Voloshin R, Zharmukhamedov S, Nam G, Zayadan B, Bruce B, Hous H, Allakhverdiev A. (2017). Biofuel production: Challenges and opportunities. *Int. J. Hydrogen Energy* 42, 8450-8461.
- Rodríguez D, Lázaro L, Ressia J, Laddaga J, Grosso J, Bongiorno C, Confalone A. (2021). Producción de biomasa de Arundo donax L., un cultivo bioenergético para el centro de la provincia de Buenos Aires. *RADA*, **XII**. En publicación, aceptado 11/08/2021.
- Shatalov A, Pereira H. (2006). Paper making fibers from giant reed (arundo donax L.) by advanced ecologically friendly pulping and bleaching technologies. *BioResources* **1** (1), 45-61.
- Whittaker C, Shield I. (2018). Biomass Harvesting, Processing, Storage, and Transport (Cap. 7). *Greenhouse Gases Balance of Bioenergy Systems* 97-106. Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-08-101036-5.00007-0.