

Producción de biomasa de *Arundo donax* L., un cultivo bioenergético para el centro de la provincia de Buenos Aires

D. Rodríguez, L. Lázaro, J. Ressa, J. Laddaga, J. Grosso, C. Bongiorno y A. Confalone

RESUMEN

El impacto de los combustibles fósiles en la generación de gases de efecto invernadero ha intensificado el estudio de nuevas fuentes de energía renovable, como los cultivos energéticos. *Arundo donax* L. es uno de los cultivos más promisorios para la producción de energía debido a su alta tasa de crecimiento y capacidad para crecer en diferentes condiciones. En este trabajo se evalúa el manejo del cultivo en condiciones potenciales (con riego y fertilización) y reales (sin riego, ni fertilización), con el objetivo de determinar su potencialidad en Azul, centro de la provincia de Buenos Aires. El cultivo fue plantado en la primavera del 2019, empleando rizomas a dos densidades, (1 y 2 plantas.m²). Periódicamente se midió altura, número de tallos, índice de área foliar (IAF) y de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (IPAR). En invierno se realizó la cosecha de la parte aérea del cultivo. En el primer año de cultivo, el tratamiento potencial produjo un incremento de todos los parámetros evaluados, alcanzando un valor de eficiencia en la utilización de la radiación (EUR) de 1,24 g.MJ⁻¹ en la mayor densidad de plantación. Estas diferencias están fundamentadas en una mayor intercepción de radiación solar y un mayor IAF máximo.

Palabras clave: caña de Castilla; bioenergía; cambio climático

D. Rodríguez, L. Lázaro, J. Ressa, J. Laddaga, J. Grosso, C. Bongiorno and A. Confalone, 2021. Biomass production of *Arundo donax* L., a bioenergetic crop for the center of Buenos Aires province. RADA XII: 15-20

SUMMARY

The impact of fossil fuels on the generation of greenhouse gases has intensified the study of new sources of renewable energy, such as energy crops. *Arundo donax* L. is one of the most promising crops for energy production due to its high growth rate and ability to grow under different conditions. In this work, the management of the crop is evaluated under potential conditions (with irrigation and fertilization) and real conditions (without irrigation, or fertilization), with the aim of determining its potentiality in Azul, center of the province of Buenos Aires.

The crop was planted in the spring of 2019, using rhizomes at two densities, 2 plants m⁻² and 1 plant m⁻². Measurements of height, number of stems, leaf area index (IAF) and interception of photosynthetically active radiation (IPAR) were made periodically. In the winter, the aerial part of the crop was harvested. In the first year of cultivation, the potential treatment produced a significant increase in all the parameters evaluated, reaching a value of efficiency in the use of radiation (EUR) of 1.24 g MJ⁻¹ in the highest planting density. These differences are based on a higher interception of solar radiation and a higher maximum IAF.

Key words: Giant reed; bioenergy; climate change

D. Rodríguez, J. Laddaga y A. Confalone: NAACCE: Núcleo de Estudios en Actividades Agropecuarias y Cambio Climático. Facultad de Agronomía-UNCPBA; L. Lázaro, J. Ressia, J. Grosso y C. Bongiorno: CISSAS: Centro de Investigaciones Integradas sobre Sistemas Agronómicos Sustentables, Facultad de Agronomía UNCPBA. Azul (7300) BA, Argentina. Correspondencia a lrodriguez@faa.unicen.edu.ar

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética ha profundizado la explotación de combustibles fósiles no convencionales, convirtiéndose en una de las principales causas del cambio climático. Los cambios en la composición de la atmósfera como consecuencia de la actividad humana producen cambios en la reflexión y absorción de la energía solar y como resultado se obtiene un clima diferente. Como consecuencia del cambio climático, en el centro geográfico de la provincia de Buenos Aires desde la década de 1960 se ha intensificado la ocurrencia de eventos extremos de fenómenos meteorológicos (Confalone *et al.*, 2017).

El impacto de los combustibles fósiles sobre la generación de gases de efecto invernadero (GEIs) promueve el estudio de nuevas fuentes de energía renovables, entre ellas los cultivos energéticos, ya que actualmente desacelerar el calentamiento global es el principal desafío ambiental para la humanidad (IPCC, 2014). La producción de bioenergía a partir de diversas biomásas es un proceso incipiente en Argentina y en la región pampeana, donde, bajo el amparo legal e institucional promovido por la Ley 27.191/2015 brinda una estructura favorable para la exploración y explotación de nuevas fuentes de biomasa que no compitan con la producción de alimentos.

Arundo donax L. (caña de Castilla) es una especie C3, pero de alta eficiencia fotosintética y se reproduce por rizomas (Falasca *et al.*, 2011). Al ser una especie C3, crece bien en climas templados y tropicales (Villanueva. 2016), y puede cultivarse en una amplia variedad de tipos de suelos (Mehmood *et al.*, 2017), aunque prefiere suelos profundos con alta humedad.

Una vez implantado, el cultivo tiene una elevada capacidad de reproducción vegetativa (Cavallaro *et al.*, 2014) y puede dar producciones durante 15 a 20 años (Cosentino *et al.*, 2016). En condiciones ambientales ideales puede llegar a las 100 t ha⁻¹ año⁻¹ (Williams *et al.*, 2009). En el hemisferio norte es una especie muy utilizada para la producción de biomasa para bioenergía (Curt *et al.*, 2017). En España, consideran que *Arundo donax* L. tiene un alto potencial de uso como biocombustible sólido (Navarro *et al.*, 2013), al igual que en Portugal (Abreu *et al.*, 2020) ya que debido a su elevada tasa de crecimiento y a su alta eficiencia en el uso del agua se convierte en una especie apta para la generación de bioenergía (Triana *et al.*, 2014). En Estados Unidos, dada la rápida velocidad de producción de biomasa, la ubican como candidata para el desarrollo de biocombustibles (Barney y Di Tomaso, 2008). Falasca *et al.* (2011) analizaron el potencial de la caña de Castilla en nuestro país y determinaron que la región centro de la provincia de Buenos Aires, es un área apta para su cultivo. En un ensayo preliminar en Azul (Facultad de Agronomía-UNCPBA), la producción de biomasa en el primer año de cultivo fue entre 5196 y 11317 kg.ha⁻¹ para densidades de 1 y 2 plantas.m⁻², respectivamente (Barrado *et al.*, 2019), lo que demuestra la posibilidad de convertirse en un cultivo energético en nuestra región.

El objetivo de este trabajo fue ampliar la información existente y evaluar cómo el manejo del cultivo: condiciones potenciales (con riego y fertilización) y reales (sin riego, ni fertilización) y densidades de plantación afectan los parámetros del crecimiento y la producción de biomasa en Azul, centro geográfico de la provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron rizomas de la especie *A. donax* de cañaverales naturalizados en los alrededores del sitio experimental, los que fueron posteriormente divididos en trozos de 8-10 cm, y plantados el 27 de septiembre de 2019 en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía UNCPBA, Azul (Figura 1) en un suelo Argiudol típico, siguiendo un diseño experimental en parcelas subdivididas con tres bloques al azar, cuya parcela principal consistió en las condiciones de crecimiento y la parcela secundaria a las densidades de plantación. Cada bloque o repetición se dividió en dos parcelas principales que contenían los tratamientos. Los tratamientos fueron diferentes condiciones de crecimiento i) potenciales (suelo regado por goteo, manteniéndose próximo a capacidad de campo y fertilizado con 110 kg ha⁻¹ de N y 20 kg ha⁻¹ de P) y ii) reales, en seco y sin fertilización. A las parcelas secundarias fueron asignadas dos densidades de plantación: 1 planta.m⁻² y 2 plantas.m⁻², en hileras separadas a un metro. Las dimensiones de las parcelas secundarias fueron de 36 m² (6 metros de ancho por 6 metros de largo).

Periódicamente se realizaron mediciones de altura de plantas, número de tallos, índice de área foliar (IAF) y de intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (IPAR). Las mediciones de IAF se realizaron al atardecer utilizando un analizador de canopy (LAI 2000, Li-Cor, Inc.). La IPAR se midió con un sensor cuántico lineal. Al finalizar el ciclo de crecimiento, se realizaron ajustes temporales para cada tratamiento, del IAF a la ecuación gaussiana (Ec.1) (Hunt, 1972) y de la eficiencia de intercepción de PAR acumulada por el cultivo a la ecuación de Richards (Ec. 2) (Causton *et al.*, 1978).

$$Y=A*e^{\frac{-(t-b)^2}{2*c^2}} \quad \text{Ec.1}$$

Donde,

- Y: Índice de área foliar (IAF)
- t: Días transcurridos desde la plantación
- A: Índice de área foliar máximo
- b: Días después de la plantación en el que se alcanza el IAF máximo.
- c: Coeficiente de dispersión, indica apertura de la curva.

$$Y=\frac{a}{1+e^{(b-c-x)^{(1/d)}}} \quad \text{Ec.2}$$

Donde,

- Y: Proporción de radiación interceptada
- x: Días desde la plantación (DDP)

- a: asíntota de la curva cuando DDP ∞
- b: coeficiente que regula la tasa en la cual la asíntota a es alcanzada
- c: coeficiente igual a la tasa de intercepción a muy bajos valores de cobertura vegetal
- d: coeficiente alométrico: permite variaciones en la forma sigmoidea de la curva.

Los elementos del tiempo atmosférico (radiación global, temperatura y precipitaciones) fueron obtenidos del Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía-UNCPBA, provenientes de la estación meteorológica automática ubicada a metros del sitio del experimento (CRAGM, 2020).

Luego de las primeras heladas, cuando el cultivo pasó a la etapa de latencia por bajas temperaturas, se realizó la cosecha de la parte aérea (9/07/2020), en una superficie de 8 m² por subparcela o parcela secundaria, con el fin de determinar la biomasa aérea producida y los componentes del rendimiento.

Posteriormente se analizaron los datos obtenidos, y se calculó la eficiencia en la utilización de la radiación (EUR), estimada como el cociente entre la materia seca aérea total producida y la IPAR acumulada durante el ciclo del cultivo.

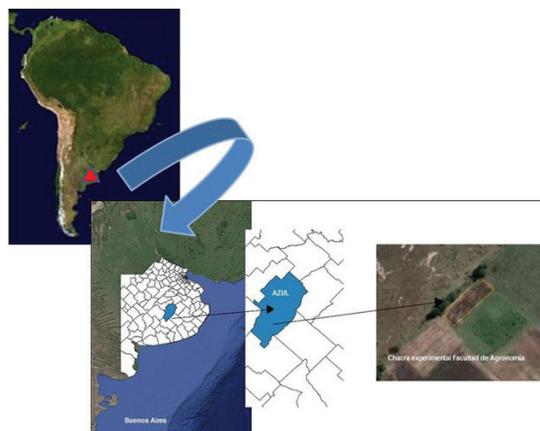


Figura 1. Localización del ensayo de *Arundo donax* L. en la Chacra Experimental de la Facultad de Agronomía – UNCPBA (Lat.: 36°45'S; Long.: 59°50'W), Azul, Buenos Aires.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ciclo de cultivo, la radiación global promedio fue de 17,65 MJ.m⁻²d⁻¹, mientras que los promedios de temperatura máxima, mínima y media fueron de 23,1 °C, 9,6 °C y 16,4 °C. La precipitación acumulada en el ciclo del cultivo fue de 635,1 mm. En el mes de abril a los 171 y 172

días después de la emergencia (DDE), se verificó la ocurrencia de las primeras heladas de 2020, las que a pesar de ser heladas leves (-0,3 °C) habrían comenzado a limitar el crecimiento del cultivo. Los datos de temperatura máxima y mínima, radiación global y precipitación se pueden observar en figura 2.

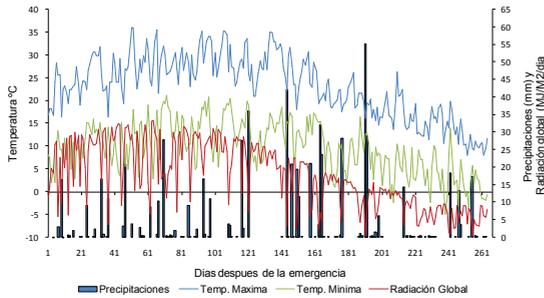


Figura 2. Evolución de los elementos del tiempo atmosférico desde octubre del 2019 hasta julio del 2020.

La evolución del IAF (Fig.3a) de cada tratamiento se ajustó adecuadamente a la ecuación de Gauss (Ec.1) ($r^2 \geq 0,812$; Tabla 1). El IAF máximo en la condición potencial fue 4,12 en la mayor densidad y disminuyó 29 % en la menor; mientras que en seco el IAF máximo fue 1,41, media de ambas densidades (Tabla 1). Por otro lado, la evolución diaria de la proporción de IPAR, respecto de la PAR incidente (Fig.3b) de todos los tratamientos, se ajustaron al modelo de Richards (Ec.2) cuyos coeficientes se detallan en la Tabla 2. Únicamente el tratamiento plantado a mayor densidad y en condiciones potenciales fue el que logró capturar durante parte del ciclo una alta proporción de la radiación incidente (Tabla 2, Fig. 3b).

Tabla 1. Coeficientes de la ecuación gaussiana (Ec.1) para el ajuste de la evolución temporal del IAF, para las dos densidades de plantación en cada tratamiento (Potencial y Real).

	Potencial		Real	
	2 pl.m ⁻²	1 pl.m ⁻²	2 pl.m ⁻²	1 pl.m ⁻²
a	0,954	0,897	0,598	0,441
b	567	19,5	245	8,58
c	2,95	0,101	1,28	0,0841
d	764	9,94	68,1	0,011
R²	0,99	0,99	0,99	0,99

La captura de radiación se vio fuertemente condicionada por los tratamientos. El IAF máximo (Tabla 1) en la condición potencial fue 4,12 en la mayor densidad y disminuyó 29 % en la menor; mientras que en seco el IAF máximo fue 1,41, media de ambas densidades. Únicamente el

Tabla 2. Coeficientes de la ecuación de Richards (Ec.2), para el ajuste de la evolución de la proporción de PAR interceptada por el cultivo.

	Potencial		Real	
	2 pl.m ⁻²	1 pl.m ⁻²	2 pl.m ⁻²	1 pl.m ⁻²
A	4,12	2,91	1,61	1,22
b	203	201	208	212
c	60,3	72	62,1	57,3
R²	0,944	0,853	0,932	0,812

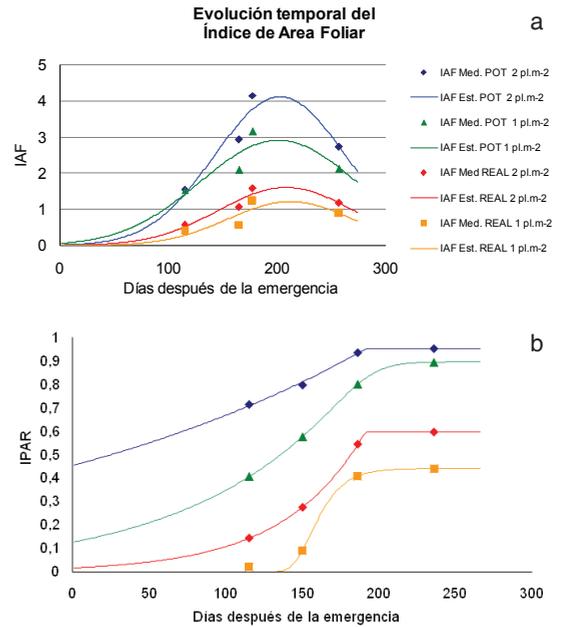


Figura 3. Evolución temporal del índice de área foliar (IAF) y de la proporción de radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR) para dos densidades de plantación (1 y 2 pl.m²), en condiciones potenciales y reales. Los símbolos representan el promedio de las observaciones o mediciones y las líneas continuas, el modelo de ajuste o estimaciones:

—Potencial 2 pl.m⁻²; —Potencial 1 pl.m⁻²; —Real 2 pl.m⁻²; —Real 1 pl.m⁻²

a: IAF en función de los días después de emergencia; b: IPAR en función de los días después de la emergencia.

tratamiento potencial en la densidad más alta (2 pl.m²) logró alcanzar el IAF crítico (aquel que intercepta el 95 % de la radiación incidente), acumulando en el ciclo completo 1448 MJ PAR.m⁻², mientras que en la densidad menor la acumulación de PAR interceptado se redujo un 43%, respecto a la mayor densidad. Esto demuestra la importancia del riego y la fertilización en el primer año, y de utilizar una densidad de al menos 2 pl.m⁻² para lograr capturar altas proporciones de la radiación incidente que le permitan al cultivo crecer a altas tasas.

Tabla 3. Altura máxima de plantas (m), tallos/planta y biomasa aérea total, para cada tratamiento, combinación de dos condiciones de crecimiento: potencial (Pot. regado y fertilizado) y real (Real: seco y sin fertilización) y dos densidades de plantación 2 y 1 pl.m² de cultivos de caña de castilla creciendo en Azul, prov. Bs. As.

Trat.	Dens.(pl.m ²)	Alt. Máx.(m)	Alt. Máx.(m)	Tallos/pl.	Tallos/pl.	Biomasa (kg.ha ⁻¹)	Biomasa (kg.ha ⁻¹)
Pot.	2	3,37 ^a	3,3 ^a	7,58 ^a	6,45 ^a	18116 ^a	16507 ^a
	1	3,22 ^a		5,32 ^b		14899 ^a	
Real	2	1,59 ^b	1,5 ^b	4,09 ^c	4,15 ^b	5122 ^b	3917 ^b
	1	1,42 ^b		4,21 ^c		2712 ^b	

*valores en las columnas seguidos de la misma letra, no difieren entre sí por el test de Tuckey (P< 0,05)

El riego y la fertilización produjeron un incremento significativo en la biomasa total producida, como así también en la altura, el número de tallos por planta y el peso de los mismos (Tabla 3 y Figura 3). En condiciones potenciales, contrariamente a lo esperado, el número de tallos por planta fue superior en la densidad más alta, sin embargo, el peso por tallo fue mayor en la densidad menor, compensando en parte el menor número de plantas y tallos generados en este tratamiento. En un ensayo preliminar realizado en Azul, en un suelo no apto para agricultura y sin fertilización, pero con riego, en el primer año de cultivo, el rendimiento alcanzado fue 11000 kg.ha⁻¹ con una densidad de 2 pl.m², al disminuir la densidad a la mitad, la biomasa cosechada se redujo un 47 % (Barrado *et al.*, 2019). En el tratamiento potencial la misma reducción en la densidad produjo una disminución de sólo un 18 %, mientras que en el tratamiento real la reducción fue de alrededor del 47 % (Tabla 3). Esto demuestra la plasticidad del cultivo para compensar el número de plantas en ambientes de alta fertilidad.

La eficiencia en la utilización de la radiación (EUR) fue de 1,24 g.MJ⁻¹ en la densidad de 2 pl.m², en el tratamiento potencial, sin diferencias significativas entre densidades, la EUR en tratamiento real, fue más baja (0,89 g.MJ⁻¹). Cosentino *et al.* (2016), encontraron valores de EUR en experimentos realizados en el hemisferio norte que van desde 1,4 g.MJ⁻¹, cuando creció sin riego ni fertilización, llegando a 1,8-1,9 g.MJ⁻¹ en cultivos regados y fertilizados.

Es importante destacar que los primeros años del cultivo pueden considerarse como de implantación o establecimiento, y se estima que la producción de biomasa se incrementará anualmente hasta el tercer año, a partir del cual se estabilizará el rendimiento (Volta *et al.*, 2016). Por lo tanto, es probable que en el transcurso de los años, la densidad menor y el tratamiento real alcancen y/o superen el IAF crítico durante gran parte de su ciclo anual de crecimiento.

CONCLUSIONES

En el primer ciclo de crecimiento de *Arundo donax* L. en condiciones potenciales (regado y fertilizado) el cultivo cuadruplicó la producción de biomasa respecto al cultivo creciendo en seco y sin fertilización (condiciones reales). Estas diferencias están fundamentadas en una mayor intercepción de la radiación solar y un mayor IAF máximo. El IAF crítico, sólo fue alcanzado en condiciones potenciales plantado a una densidad de 2 pl.m².

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Proyecto Estratégico de Investigación, Desarrollo y Transferencia (03-PEIDyT-02E UNCPBA) “*Arundo donax* L. como fuente de bioenergía para la sustitución de combustibles fósiles”. Se agradece también el apoyo de la empresa Cementos Avellaneda S.A. Parte del trabajo forma parte del proyecto Doctoral del Ing. Agr. D. Rodríguez.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, M.; A. Reis, P. Moura, A. L. Fernando, A. Luis, L. Quental, P. Patinha and F. Girio, 2020. Evaluation of the Potential of Biomass to Energy in Portugal—Conclusions from the CONVERTE Project. *Energies*, Lisboa, Portugal, 13: 1–32.
- Barney, J. N. and M. Di Tomaso, 2008. Nonnative Species and Bioenergy: Are We Cultivating the Next Invader? *BioScience* 58: 64–70.
- Barrado, N.; F. Elizalde, D. Rodríguez, J. Laddaga, G. Hernández, C. Bongiorno, C. Vilatte, C. D'Alfonso, L. Aguas y A. Confalone, 2019. *Arundo donax* L., una alternativa para producir energía en el centro de la provincia de Buenos Aires. IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Florencio Varela, Buenos Aires. 2019. 6 pp.
- Causton, D.; C. Elias and P. Hadley, 1978. Biometrical studies of plant growth. I. The Richards function, and its

- application in analysing the effects of temperature on leaf growth. *Plant, Cell and Environment* 1: 163–184.
- Cavallaro, V.; C. Patané, S. L. Cosentino, I. Di Silvestro and V. Copani, 2014. Optimizing in vitro large scale production of giant reed (*Arundo donax* L.) by liquid medium culture. *Biomass and Bioenergy* 69: 21–27.
- Confalone, A.; C. Vilatte, L. Aguas, M. Barufaldi and G. Ponce, 2017. Biophysical effect of climate change on summer crops. *Cuban Journal of Agricultural Science* 54:11 p.
- Cosentino, I.; C. Patané, E. Sanzone, G. Testa and D. Scordia, 2016. Leaf gas exchange, water status and radiation use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) in a changing soil nitrogen fertilization and soil water availability in a semi-arid Mediterranean area. *European Journal of Agronomy* 72: 56–69.
- CRAGM, 2020. Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía-UNCPBA. Boletines Diciembre 2019-Junio 2020.
- Curt, M. D.; P. V. Mauri, M. Sanz, J. Cano Ruiz, J. P. Del Monte P. Aguado and J. Sánchez, 2017. The ability of the *Arundo donax* crop to compete with weeds in central Spain over two growing cycles. *Industrial Crops & Products* 108: 86–94.
- Falasca, S.; N. Flores y G. Galvani, 2011. ¿Puede usarse una especie invasora como *Arundo donax* L. (caña común) con fines energéticos en Argentina? INTA N° Doc BC-INF-07-11.
- Hunt, R. 1982. *Plant Growth Curves: The Functional Approach to Plant Growth Analysis*, Baltimore: University Park Press. 248 pp.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Report: Climate Change 2014. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Mehmood, M.; M. Ibrahim, U. Rashid, M. Nawaz, S. Ali, A. Hussain and M. Gull, 2017. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustainable Production and Consumption* 9: 3–21.
- Monsi, M. and T. Saeki, 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany* 14: 22–52.
- Navarro, P.; C. Iglesias y R. Catala 2013. Potencialidad de uso de *Arundo donax* como biocombustible sólido. VI Congreso Forestal Español, Sociedad española de Ciencias Forestales. 13p. 10-14/jun. 2013
- Triana, F.; N. Nassi o Di Nasso, G. Ragaglini, N. Roncucci and E. Bonari, 2014. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of giant reed (*Arundo donax* L.) and miscanthus (*Miscanthus X giganteus* Greef et Deu.) in a Mediterranean environment. *Global Change Biology Bioenergy* 7: 811–819.
- Villanueva. G., 2016. *Arundo donax* L. como gramínea perenne para la producción de biomasa en ambiente Mediterráneo. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona. 170 pp.
- Volta, A.; G. Villani, V. Marletto and E. Ceotto, 2016. Growth of the perennial energy crop giant reed (*Arundo donax* L.) simulated with ARMIDA, a modified version of the LINTUL model. *Revista Italiana di Agrometeorologia*. 34: 5–22.
- Williams, C.; T. Biswas, I. Black, L. Marton, M. Czako, P. Harris, R. Pollock, S. Heading and J. Virtue, 2009. Use of poor quality water to produce high biomass yields of Giant Reed (*Arundo Donax* L.) on marginal lands for biofuel or pulp/paper. *International Society for Horticultural Science (ISHS) Acta Horticulturae* 806: 595–602.