



Respuesta a la fertilización con nitrógeno y fósforo en cultivos lignocelulósicos

Viana Otero M.^{1*} , Siri Prieto G.² 

¹Investigador independiente *Email: mvirginiaviana@gmail.com

²Universidad de la República Oriental del Uruguay. Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal. Estación Experimental Mario A. Cassinoni

Recibido: 18 abril 2017 - Aceptado: 06 mayo 2019

Resumen

Los cultivos lignocelulósicos se han desarrollado como alternativa en la matriz energética. Tres especies de interés en Uruguay son *Arundo donax*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum virgatum*. El objetivo fue comparar la producción de estas tres especies, cuantificar la respuesta al agregado de nitrógeno, fósforo y sus efectos en el carbono del suelo (COS) luego de 6 años. Los cultivos se instalaron en 2007 y se evaluaron desde setiembre de 2011 a agosto de 2013. Los tratamientos de fertilización consistieron en: 1. testigo sin fertilización; 2. 100 kg ha⁻¹ de N; 3. 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅; y 4. 100 kg ha⁻¹ de N y de P₂O₅. La producción fue mayor en el año 2013. *Arundo donax* produjo significativamente más biomasa área (18,6 Mgha⁻¹ año⁻¹) que *P. virgatum* (15,6 Mg ha⁻¹año⁻¹) y *P. purpureum* (14,9 Mg ha⁻¹año⁻¹). La fertilización con N aumentó 50 % la producción en las tres especies, aunque en *A. donax* el incremento no fue significativo. No hubo respuesta a la fertilización con P. Las diferencias debido a especies o en producción de biomasa debido a la fertilización no generaron diferencias de contenidos de COS luego de 6 años. *Panicum virgatum*, fue la especie que presentó menor contenido de humedad (16 %), lo que es una característica favorable como materia prima para la producción de energía. Los rendimientos fueron los esperables para nuestra región, con variabilidad anual atribuible a las condiciones climáticas y se pueden aumentar al fertilizar con N.

Palabras clave: *Arundo donax*, cultivo energético, *Panicum virgatum*, *Pennisetum purpureum*, fertilización

Response to Nitrogen and Phosphorus Fertilization in Lignocellulosic Crops

Summary

Lignocellulosic crops have been developed as an alternative in the energy matrix. Three species of interest in Uruguay are *Arundo donax*, *Pennisetum purpureum* and *Panicum virgatum*. In these crops nitrogen fertilization is the largest energy input. The objective was to compare the production of these three species, quantify the response to the addition of nitrogen and phosphorus and compare the final carbon content in the soil. The cultures were installed in 2007 and were evaluated from September 2011 to August 2013. The fertilization treatments after cutting were: witness without fertilization; 100 kg ha⁻¹ N; 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅; and 100 kg ha⁻¹ of N and P₂O₅. The production was higher in 2013. *Arundo donax*, with a production of 18.6 Mg ha⁻¹y⁻¹, produced more than *P. purpureum*, with a production of 14.9 Mg ha⁻¹y⁻¹, while *P. virgatum* had intermediate values, 15.6 Mgha⁻¹y⁻¹. N fertilization increased production by 50% in the three species, though in *A. donax* the increase was not significant. There was no response to fertilization with P. Differences in biomass production did not generate differences in soil carbon content at the end of the evaluation. In spite *P. virgatum* intermediate yield, it was the species with the lowest moisture content (16 %), which is favorable as raw material for energy production. The yield were the expected ones for our region, with an annual variability attributable to climatic conditions and that can be increased with N fertilization.

Keywords: *Arundo donax*, energy crops, *Panicum virgatum*, *Pennisetum purpureum*, fertilization

Introducción

En los últimos años los cultivos energéticos se han desarrollado a nivel mundial como una alternativa viable a incorporar en la matriz energética, reemplazando combustibles fósiles y por lo tanto disminuyendo el CO₂ atmosférico. Se los utiliza como fuentes de energía a través de la combustión directa, producción de gas, etanol u otro tipo de energía envasada. Otra posible ventaja atribuible a los cultivos lignocelulósicos sería la acumulación de materia orgánica en el suelo. La alta producción de biomasa aumentaría el COS, el ciclo perenne disminuiría las pérdidas de este COS a consecuencia de la respiración y erosión del suelo⁽¹⁾⁽²⁾. McLaughlin y otros⁽³⁾ observaron incrementos del COS asociado con altos rendimientos de *Panicum virgatum* y disminución de la erosión, debido al ciclo perenne de producción. Zan y otros⁽⁴⁾ sugieren que los cultivos perennes tienen el potencial de acumular mayor cantidad de COS que los cultivos anuales.

En Uruguay, dentro de una gran variedad de especies potenciales para generar biomasa, se iniciaron estudios en tres especies: *Arundo donax* (Caña común), *Pennisetum purpureum* (Pasto elefante) y *Panicum virgatum* (Switchgrass). *Arundo donax* es de las más utilizadas en Europa, *P. virgatum* está ampliamente difundida en Estados Unidos, mientras *P. purpureum* se cultiva en varias regiones. El ciclo estival de *P. purpureum* y *P. virgatum* es del tipo metabólico fotosintético C₄, mientras *A. donax* es tipo C₃ con desarrollo estival también⁽¹⁾.

Es deseable que estos cultivos posean bajos valores de contenidos de humedad, ya que esto disminuye los costos de transporte, almacenamiento y secado previo a su utilización como materia prima. McLaughlin y otros⁽³⁾ cuantificaron para *P. virgatum* un contenido de humedad de 15 %. Smith y otros⁽⁵⁾ para *A. donax*, reportaron contenidos de 14 a 30 % de humedad, mientras Dragoni y otros⁽⁶⁾ observaron valores de hasta 61 % en este cultivo. En la especie *P. purpureum* se han reportado contenidos de humedad entre 65⁽⁷⁾ y 78 %⁽⁸⁾⁽⁹⁾. El contenido de cenizas es otra variable al evaluar la calidad de la biomasa y dentro de las cenizas el componente más importante es el contenido de potasio, debido a sus efectos en la combustión⁽³⁾⁽¹⁰⁾.

En los sistemas de producción de cultivos energéticos los balances de energía deberían ser positivos. Los principales gastos de energía en la producción de cultivos lignocelulósicos son la fertilización, principalmente con N, de acuerdo con lo expuesto por Nassi o Di Nasso⁽¹¹⁾, Fike⁽¹²⁾ y Heaton⁽¹³⁾. La fertilización con N y P, sin embargo, ha in-

crementado el rendimiento en estos cultivos. En *P. virgatum*, Searle y otros⁽¹⁴⁾, recomiendan fertilizar con no más de 56 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N. Haque y otros⁽¹⁵⁾ observaron respuestas de 100 kg MSkg⁻¹ N, mientras Pedroso⁽¹⁶⁾ y Owens⁽¹⁷⁾ observaron respuesta de 55 kg MSkg⁻¹ N. El nivel óptimo de respuesta en biomasa total se obtuvo con 80 kg ha⁻¹ año⁻¹ N según Boehmel⁽²⁾. En el cultivo de *P. purpureum*, Sharma y otros⁽¹⁸⁾ obtuvieron el mayor beneficio económico con 80 kg ha⁻¹ N y 20 Mg ha⁻¹ de estiércol. La respuesta observada por estos autores fue de 55 a 117 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ kg⁻¹ N. En *A. donax*, Angelini⁽¹⁹⁾ obtuvieron rendimientos de 23 a 27 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹ con 200 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹ y 200 kg ha⁻¹, de N, P y K respectivamente. En el año 2009, Angelini y otros⁽¹⁾ observaron rendimientos mayores, 28,7 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹ al fertilizar con 100 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹ y 100 kg ha⁻¹, de N, P y K respectivamente.

La biomasa producida por *Arundo donax*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum virgatum* podría estimarse por los componentes de rendimiento: peso individual del tallo (PIT) y número de tallos por superficie (N°Tm⁻²); según las investigaciones realizadas por Angelini⁽¹⁾ en *A. donax*, Oliveira⁽²⁰⁾ en *P. purpureum* y Boe⁽²¹⁾ en *P. virgatum*.

En Uruguay existe escasa información acerca de la producción de materia seca de los cultivos anteriormente mencionados. Es posible que estos cultivos tengan diferente potencial ya que provienen de ambientes diferentes y que la disponibilidad de los nutrientes, N y P, podría limitar la producción de biomasa en los tres cultivos. Es igualmente esperable que estos cultivos posean desarrollo radical profundo y de esta forma incidan en los contenidos de K, N y P. Se planteó como objetivo evaluar el potencial de estos cultivos en rendimiento de biomasa aérea, PIT y N°T m⁻² como posibles indicadores para estimar el rendimiento, calidad de biomasa (% humedad, y contenido de K), la respuesta a la fertilización con N y P y la composición química del suelo luego de 6 años de iniciado el experimento.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en la Estación Experimental «Dr. Mario A. Cassinoni» (EEMAC) de la Facultad de Agronomía, Udelar, ubicada en el departamento de Paysandú (32° 21' S y 58° 02' W; 61 m de altitud) en Uruguay; sobre suelos clasificados como Brunosoles Eútricos Típicos Fr de la unidad cartográfica San Manuel⁽²²⁾.

Los cultivos energéticos que se evaluaron fueron *Panicum virgatum* (*P. virgatum*), *Arundo donax* (*A. donax*) y *Pennisetum purpureum* (*P. purpureum*). Los cultivos se instalaron en primavera de 2007 y se manejaron de la misma forma hasta el final del período de evaluación. El período de evaluación aquí presentado se realizó desde setiembre de 2011 a agosto de 2013. *Panicum virgatum* se cultivó de semilla con una población objetivo de 100 plantas m⁻², *P. purpureum* y *A. donax* se cultivaron por esquejes, con una población objetivo de 2 plantas m⁻². Cada parcela posee un área de 15 m² (3 m x 5 m). Las cosechas en este experimento se realizan en agosto de 2012 y 2013. El experimento presenta un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los datos de precipitaciones se extrajeron de Viana⁽²³⁾.

Los tratamientos de fertilización consistieron en: 1. testigo sin fertilización; 2. 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N) agregado en forma de urea; 3. 100 kg ha⁻¹ de fosfato (P₂O₅) agregado como supertriple; 4. 100 kg ha⁻¹ de N más 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Las fertilizaciones se realizaron a un mes de realizada la cosecha (setiembre). Las fertilizaciones se realizaron anualmente desde el año 2007.

Evaluación de la producción

La cosecha se realizó con una segadora a una altura de aproximadamente 10 a 15 cm. En cada corte se cosechó un área de 2,2 m² de cada parcela. En cada cosecha, para la determinación de materia seca se pesó una muestra fresca (aproximadamente 1 kg), se trozó a fracciones de 5 cm y secó a 60 °C durante 48 horas. El contenido de materia seca (%MS) se estimó como el cociente entre peso seco:peso fresco y se expresó en porcentaje. El contenido de humedad se estimó como la diferencia 100 – (%MS). El material secado se molió hasta pasar una malla de 2 mm y se analizó el contenido de potasio (%K). En una submuestra fresca de aproximadamente 3 kg, se pesó la muestra, se contó el número de tallos y se estimó el peso individual de los tallos (PIT), expresado en base seca. A partir del número de tallos de la submuestra se estimó el número de tallos m⁻² (N°Tm²).

Evaluación de propiedades químicas del suelo

Para evaluar en el suelo los niveles finales de K intercambiable (K int), P Bray I (P BrayI), N total (N total) y COS, se realizó el muestreo en octubre del año 2013, en el sexto año de los cultivos. Se extrajeron muestras de suelo a la profundidad de 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y 40 a 60 cm

en todos los tratamientos. Las muestras fueron secadas a 40 °C, molidas hasta pasar por malla 2 mm y enviadas al laboratorio para su análisis. La determinación de K int se realizó mediante extracción con acetato de amonio y posterior determinación en espectrometría de llama por emisión atómica⁽²⁴⁾; el contenido de P Bray I se realizó de acuerdo con el extractante propuesto por Bray⁽²⁵⁾ y el contenido de P en el extracto se determinó por desarrollo de color azul del complejo P-molibdato, según Murphy⁽²⁶⁾; el N total se determinó por digestión húmeda de acuerdo con una modificación de la técnica de Kjeldahl propuesta por Bremner⁽²⁷⁾; y COS se determinó mediante digestión húmeda según Tynsley⁽²⁸⁾.

Análisis estadístico

La producción de materia fresca y seca se analizó por modelos mixtos, con el software InfoStat/P⁽²⁹⁾. Al haber medidas repetidas en el tiempo se consideraron las parcelas como efecto aleatorio. Los niveles de COS, N_{total}, P Bray I, K_{int}, %K se analizaron como modelo general lineal. Se consideraron efectos significativos del ANAVA aquellos con p < 0,1 y se consideró que existió tendencia en los efectos con p < 0,2. Todas las medias se compararon por test LSD de Fisher con alfa = 0,10. La estimación de producción de materia seca a partir de PIT y N°T m² se evaluó por el ajuste de la regresión obtenida.

El cálculo del beneficio económico por la fertilización con nitrógeno consideró la relación: [(USD.kg⁻¹materia seca producida)*aumento kg materia seca producida]/ [(USD.kg⁻¹N invertido)*kg N invertido]. Se consideró un valor de 0,1 USD.kg⁻¹ materia seca producida y un valor de 2,17 USD.kg⁻¹ N en la forma de urea, correspondientes a valores del año 2013.

Resultados y discusión

Producción de materia seca

La producción promedio de materia seca (Cuadro 1) fue mayor en el año 2013 (19,1 Mg ha⁻¹) que en el año 2012 (13,7 Mg ha⁻¹) debido, probablemente, a mejores condiciones climáticas. En el período de crecimiento 2012-2013 las lluvias se concentraron en diciembre 2012. En el período de crecimiento 2011-2012 las lluvias se concentraron en febrero 2012 (Figura 1). Esta diferencia de distribución de lluvias pudo aumentar la disponibilidad de agua durante el período de mayor sensibilidad al estrés hídrico del cultivo en el año 2013.

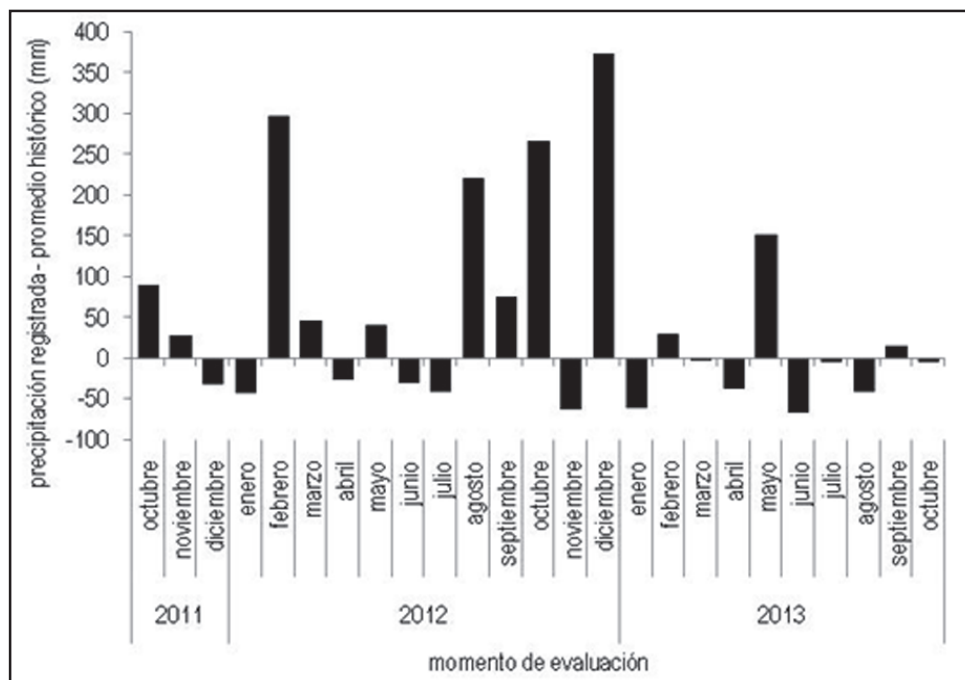


Figura 1.

A pesar de que las tres especies tuvieron similares rendimientos de materia seca ($p = 0,16$), *A. donax* tendió a un mayor rendimiento promedio y *P. purpureum* a la menor producción (Cuadro1). Estos rendimientos estuvieron dentro de lo esperado para precipitaciones de 400 a 550 mm de acuerdo con Falasca y otros⁽³⁰⁾, quienes sugieren que en Argen-

tina *A. donax* puede tener rendimientos de 12 a 15 Mg ha⁻¹. En Italia Angelini y otros⁽¹⁾⁽¹⁹⁾ citan, para esta especie, rendimientos de 23,0 a 37,7 Mg ha⁻¹. En *P. virgatum* existe en la bibliografía gran diversidad de rendimientos, según localidades y cultivares, los que van desde 5,6⁽³¹⁾ a 34,6 Mg ha⁻¹⁽³²⁾. Searle y otros⁽¹⁴⁾ sugieren que los rendimientos de

Cuadro 1. Producción de materia seca por año y manejo de fertilización con nitrógeno para las tres especies.

Especie	2012			2013			Promedio
	0 N	100 N	Promedio anual	0 N	100 N	Promedio anual	
	Mg ha ⁻¹						
<i>A. donax</i>	10,69	18,94	14,82	19,66	25,45	22,56	18,6
<i>P. virgatum</i>	11,16	14,39	12,78	13,27	23,52	18,4	15,6
<i>P. purpureum</i>	10,98	16,03	13,51	13	19,62	16,31	14,9
Media			13,70			19,10	
Año†				*			
Nitrógeno				*			
Fósforo				Ns			
Especie				Ns			
Nitrógeno x Año				*			

† Representación parcial del Anava. N: kg ha⁻¹ nitrógeno.

este cultivo pueden ser bajos en suelos pobremente drenados y de inadecuada precipitación, y los altos rendimientos se asocian con climas cálidos, mientras los rendimientos intermedios se asocian con zonas de clima templado. Al ser nuestro clima templado a subtropical y los suelos tener un drenaje moderado a bien drenado, era esperable obtener valores intermedios de rendimiento. En la bibliografía el rendimiento de *P. purpureum* también es muy diverso, pero la producción de materia seca aquí obtenida se encuentra entre los registros más bajos citados. Olivo y otros⁽³³⁾ obtuvieron, en un régimen de pastoreo, rendimientos de 23,4 a 34,3 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Alencar y otros⁽³⁴⁾ en cultivos bajo riego alcanzaron rendimientos de 28,2 a 35,6 Mg ha⁻¹ año⁻¹ con fertilización de 100 a 700 kg ha⁻¹ N.

La fertilización con N aumentó, en promedio, 50 % la producción de materia seca en las tres especies (Cuadro 1), aunque al analizar por especie no hubo efecto en *A. donax*. En *P. virgatum* la fertilización con N aumentó la producción de materia seca promedio anual en 67,3 kg ha⁻¹ kg⁻¹ N y en *P. purpureum* el aumento fue de 58,3 kg ha⁻¹ kg⁻¹ N. Según la bibliografía era esperable que existiese respuesta a la fertilización. En *P. purpureum*, Sharma y otros⁽¹⁸⁾ reportaron respuestas del orden de 55 a 117 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ kg⁻¹ N en cultivos de *P. purpureum* en India, las cuales son próximas a las obtenidas en este trabajo. Las menores respuestas pudieron deberse al manejo de cosecha o pastoreo frecuente que manejaron los investigadores, acorde a lo discutido por Parrish⁽³⁵⁾. En *P. virgatum*, Pedroso y otros⁽¹⁶⁾ obtuvieron una respuesta de 55 kg MS ha⁻¹ kg⁻¹ N en cultivos del valle central de California. Haque y otros⁽¹⁵⁾ obtuvieron un incremento de hasta 100 kg MS ha⁻¹ kg⁻¹ N en cultivos de Oklahoma. Allison y otros⁽³⁶⁾ observaron incrementos de 50 % del rendimiento al fertilizar con 150 kg ha⁻¹ N cultivos de *P. virgatum* en el este de Inglaterra. En *A. donax* el incremento de rendimiento de materia seca promedio anual fue de 69,8 kg ha⁻¹ kg⁻¹ N, pero esta respuesta no fue significativa. En la bibliografía se encuentran resultados dispares de la respuesta de esta especie a la fertilización. Angelini y otros⁽¹⁹⁾ aumentaron el rendimiento de 23 a 27 Mg ha⁻¹ año⁻¹ al fertilizar con 200, 80 y 200 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente, cultivos de *A. donax* en la zona central de Italia. Palmer y otros⁽³⁷⁾ no obtuvieron respuesta o fue negativa, al fertilizar un cultivo de *A. donax* con 134 kg ha⁻¹ N en la región de Carolina del Norte.

La respuesta a la fertilización con N fue mayor en el año 2013 (76 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ kg⁻¹ N) que en el año 2012 (55 kg MS ha⁻¹ año⁻¹ kg⁻¹ N), debido probablemente a las mejores condiciones ambientales del 2013 comentadas

anteriormente. El beneficio económico de la fertilización (asumiendo los precios a diciembre de 2013) fue de un rango entre 2,7 a 3,2. Pese a los posibles cambios en los precios de los cultivos y de los fertilizantes, el beneficio obtenido otorgaría un amplio margen de variación de precios dentro de los cuales la fertilización sería rentable.

Ninguna de las tres especies aumentó el rendimiento debido a la fertilización con P, por lo que se puede asumir que el aporte de P del suelo fue suficiente. No existe en Uruguay información que especifique el nivel crítico de P disponible para estos cultivos. La falta de respuesta a la fertilización con P pudo deberse a la adaptación de estos cultivos a ambientes de bajo aporte de Xu y otros⁽³⁸⁾ sugieren que en *A. donax* existen microorganismos solubilizadores de P en la rizósfera, lo cual podría explicar el crecimiento de este cultivo en suelos de bajos contenidos de P disponible. Gagne-Bourgue y otros⁽³⁹⁾ reportaron bacterias capaces de solubilizar P en cultivos de *P. virgatum*. El exudado radicular por plantas de *P. purpureum* podría solubilizar P ligado al Fe y Al, lo cual le permitiría adaptarse a condiciones de baja disponibilidad de P⁽⁴⁰⁾. Al igual que en las otras especies aquí ensayadas, en *P. purpureum* se han identificado bacterias capaces de solubilizar P del suelo⁽⁴¹⁾.

El N°T m² y el PIT resultaron ser adecuados indicadores del rendimiento de materia seca en las tres especies. En *A. donax* el PIT explicó el 52 % de la variación en producción de materia seca, mientras que el N°T m² no tuvo una relación significativa. Al estimar el rendimiento a partir de PIT y la interacción N°T m²*PIT, se pudo explicar el 96 % de la variación de rendimiento de materia seca. No hubo efecto de la fertilización en estos componentes. Angelini y otros⁽¹⁾ observaron que la altura y diámetro del tallo fueron los mayores componentes del rendimiento, lo cual se puede considerar un resultado similar al aquí obtenido, ya que el PIT dependería en parte del grosor del tallo, aunque esta relación no pudo cuantificarse en el presente trabajo. En *P. purpureum*, a pesar de que la relación entre el rendimiento y N°T m² fue baja (R² = 0,25), este fue el componente más importante del rendimiento. Al considerar un efecto cuadrático de N°T m² se pudo explicar el 45 % de la variación de rendimiento, por lo que el rendimiento aumentó hasta cierto valor de N°T m² pero luego disminuyó. Este descenso pudo deberse a que un aumento de la densidad de tallos haya provocado una mayor competencia en su crecimiento, provocando la menor producción de biomasa a igual superficie. Aunque la fertilización con N aumentó el rendimiento no afectó estos componentes, por lo que es de suponer que pudo modificar la rela-

ción hoja:tallo o la altura de los tallos al momento de la cosecha. Oliveira y otros⁽²⁰⁾ determinaron una relación satisfactoria entre rendimiento y altura de los tallos, aunque no fue una variable medida en el presente trabajo, es esperable que la altura sea influenciada por $N^{\circ}T\ m^{-2}$ debido a la competencia por luz que se genera al aumentar la densidad. En *P. virgatum* los componentes que definen el rendimiento de materia seca son tanto el PIT ($R^2 = 0,44$), como el $N^{\circ}T\ m^{-2}$ ($R^2 = 0,39$), por lo que ambas variables serían de interés para aumentar el rendimiento. Al considerar ambas variables en un modelo de regresión pudo explicarse el 93 % de la variación de rendimiento. Boe y otros⁽²¹⁾ observaron resultados similares para esta especie, ya que las variables de mayor relación con el rendimiento fueron $N^{\circ}T\ m^{-2}$ y peso del fitómero. El N aumentó el rendimiento de esta especie, lo que incrementó ambos componentes de rendimiento.

Contenido de humedad

La especie que tuvo el menor contenido de humedad a la cosecha fue *P. virgatum* (16 %), mientras *P. purpureum*

tuvo el mayor contenido de humedad (52 %) y *A. donax* un valor intermedio (32 %). Al investigar estos cultivos con fines energéticos, McLaughlin y otros⁽³⁾ cuantificaron para *P. virgatum* un contenido de humedad de 15 % y Bulpitt y otros⁽⁴²⁾ para *A. donax* un contenido de 28 %. Dragoni y otros⁽⁶⁾ observaron valores superiores de humedad, de 61 a 48 %, al momento de cosecha de estos materiales. Los niveles de humedad reportados en la bibliografía para *P. purpureum*, son ligeramente superiores a los aquí observados, debido probablemente a que estos cultivos fueron manejados con cortes en estado vegetativo⁽⁷⁾ o cada 60 días⁽⁸⁾⁽⁹⁾. Es deseable que estos cultivos posean bajos contenidos de humedad, ya que esto disminuye los costos de transporte, almacenamiento y del secado previo a su utilización como materia prima para energía, excepto que sea utilizada para biogás.

El contenido de humedad promedio de las tres especies fue menor en el año 2013. No hubo efecto de la fertilización con N, ni con P, en el contenido de humedad en ninguna de las tres especies. Allison y otros⁽³⁶⁾, sin embargo, cuantificaron aumentos en los contenidos de fibra en detergente neutro y lignina en cultivos de *P. virgatum* fertilizados con N, lo

Cuadro 2. Contenido de carbono orgánico en el suelo ($g\ kg^{-1}$), por profundidad de muestreo, especie y manejo de fertilización.

Fertilización†	<i>P. purpureum</i>	<i>P. virgatum</i>	<i>A. donax</i>	DMS ($p \leq 0,10$) ‡
0 - 20 (cm)				
0 N 0 P	18,1	19	19	ns
0 N 100 P	19,5	18,9	16,6	ns
100 N 0 P	19,2	19,6	17,6	ns
100 N 100 P	19,7	18,1	18,6	ns
Media	19,1	18,9	18	ns
20 - 40 (cm)				
0 N 0 P	9,6	11,4	10,3	0,13
0 N 100 P	11,4	10,3	8,7	ns
100 N 0 P	10,6	11,7	12,1	ns
100 N 100 P	12,7	11,1	9,8	ns
Media	11,1	11,1	10,2	ns
40 - 60 (cm)				
0 N 0 P	7,5	8,6	8,2	ns
0 N 100 P	6,5	6,2	7,4	ns
100 N 0 P	7,8	6,8	8,3	ns
100 N 100 P	6,9	7,7	8	ns
Media	7,2	7,3	8	ns

†. Fertilización: 0N, sin agregado de N; 100 N, agregado de $100\ kg\ ha^{-1}\ N$; 0 P, sin agregado de P; 100 P, agregado de $100\ kg\ ha^{-1}\ P_2O_5$. ‡. DMS: diferencia mínima significativa por test de Fisher.

que provocaría mayor contenido de materia seca. Flores y otros⁽⁴³⁾ no encontraron efecto de la fertilización con nitrógeno en los contenidos de fibra de cultivos de *P. purpureum*.

Carbono en el suelo

Al sexto año de los cultivos no hubo diferencias en los contenidos de carbono del suelo entre especies ni manejos de fertilización, en las profundidades evaluadas. A la profundidad de 20 a 40 cm, sin embargo, la especie *P. virgatum* presentó mayor contenido de COS que *P. purpureum*, en las parcelas sin fertilizar con N ni P (Cuadro 2). Para la profundidad de 0 a 20 cm el contenido promedio de COS, de todo el ensayo, fue de 18,6 g kg⁻¹, en la profundidad de 20 a 40 cm el contenido fue de 10,8 g kg⁻¹ y para la profundidad de 40 a 60 cm fue de 7,5 g kg⁻¹. Ji⁽⁴⁴⁾, Lee y otros⁽⁴⁵⁾ analizaron aumentos del carbono en el suelo al fertilizar *P. virgatum* durante cinco años. Jung y otros⁽⁴⁶⁾ registraron aumentos en el COS en dos de tres sitios ensayados en Ohio, tras dos años de evaluación. El contenido de COS hasta un metro de profundidad fue mayor bajo cultivo

de *P. virgatum* que en praderas de gramíneas perennes, pero no difirió en los primeros 15 cm⁽⁴⁷⁾. Dou⁽⁴⁸⁾, Lobo⁽⁴⁹⁾ concluyen que *P. virgatum* puede favorecer el aumento de COS al determinar mayores valores que en cultivos convencionales. Schmer y otros⁽⁵⁰⁾ al cabo de 10 años de cultivos de *P. virgatum*, en Nebraska, encontraron incrementos de 0,5 Mg año⁻¹ de COS en los primeros 30 cm de suelo. En Texas, el cultivo de *A. donax* presentó, al cabo de 40 años, mayor contenido de COS hasta los 50 cm de profundidad que los cultivos de *Cynodon dactylon*⁽⁵¹⁾.

Fósforo en el suelo

Hubo un claro efecto de aumento del P_Brayl al fertilizar con P, en la profundidad de 0 a 20 cm. *Panicum virgatum* fue la especie en la cual se midió mayor nivel de P_Brayl, a la profundidad de 0 a 20 cm en el tratamiento con fertilización con P. *A. donax* y *P. purpureum* presentaron similares niveles (Cuadro 3). El mayor valor analizado en el cultivo de *P. virgatum* pudo deberse a la menor extracción de P realizada, debido al menor rendimiento.

Cuadro 3. Contenido de P_Brayl (mg kg⁻¹) en suelo, por profundidad de muestreo, especie y manejo de fertilización.

Fertilización†	<i>P. purpureum</i>	<i>P. virgatum</i>	<i>A. donax</i>	DMS (p≤0,10) ‡
0 - 20 (cm)				
0 N 0 P	4,4	4,7	4,9	ns
0 N 100 P	19,5	33,1	21,3	ns
100 N 0 P	4,1	3,9	4,8	ns
100 N 100 P	12,7	34,1	16,1	8,4
Media	10,2	18,9	11,8	ns
20 - 40 (cm)				
0 N 0 P	2,3	2,7	2,4	ns
0 N 100 P	3,2	2,7	2,4	ns
100 N 0 P	2,7	3,3	2,4	ns
100 N 100 P	2,9	2,7	3,3	0,5
Media	2,8	2,8	2,6	ns
40 - 60 (cm)				
0 N 0 P	2,9	2,2	3,2	ns
0 N 100 P	2,7	2,6	2,9	ns
100 N 0 P	2,7	2,7	4,4	1,15
100 N 100 P	2	2,4	2	ns
Media	2,6	2,5	3,1	ns

†. Fertilización: 0N, sin agregado de N; 100 N, agregado de 100 kg ha⁻¹ N; 0 P, sin agregado de P; 100 P, agregado de 100 kg ha⁻¹ P₂O₅. ‡. DMS: diferencia mínima significativa por test de Fisher.

Es de esperarse además que este cultivo haya realizado mayor reciclado del P absorbido al senescer y depositarse las hojas en la superficie del suelo. Siri y otros⁽⁵²⁾ observaron menores concentraciones de P en la biomasa cosechada de la especie *P. virgatum*, que en las otras dos especies aquí evaluadas. Schmer⁽⁵⁰⁾, sin embargo, observaron disminuciones de la disponibilidad de P luego de 10 años de cultivos de *P. virgatum*. La fertilización con N no provocó cambios en los niveles de P Brayl, pese a haber provocado diferencias de rendimiento. Es posible que la mayor cantidad de biomasa removida no provocase mayor extracción de P si la concentración de P en la biomasa fuera menor a mayor cantidad de esta.

En las otras dos profundidades de muestreo no se observaron diferencias entre especies en concentración de P en suelo, ni por causa de la fertilización con P ni N (Cuadro 3). Es posible que la diferencia observada a menor profundidad se deba a la estratificación provocada por la absorción de P por la planta y la deposición del mismo en superficie a través de la senescencia de tejido. La ausencia de laboreo,

dado que son cultivos perennes, no favorecería la reincorporación de este elemento en profundidad.

Potasio en el suelo

Las parcelas cultivadas con *A. donax* fueron las que tuvieron mayor K_{int} al final del periodo de evaluación $0,63 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$, de 0 a 20 cm de profundidad. *Pennisetum purpureum* y *P. virgatum* presentaron similares valores de K_{int} , $0,40$ y $0,42 \text{ meq. } 100 \text{ g}^{-1}$ respectivamente.

Las parcelas fertilizadas con N presentaron menores niveles de K_{int} , a la profundidad de 0 a 20 cm, que las parcelas sin fertilizar (Cuadro 4). No hubo efecto de la fertilización con P. Las parcelas fertilizadas con N provocaron mayor extracción de K y el K_{int} podría haber disminuido. Este efecto de la fertilización fue significativo en las dos especies donde se observó respuesta a la fertilización con N, *P. virgatum* y *P. purpureum*. En *A. donax* no hubo respuesta en rendimiento a la fertilización con N y el K_{int} tampoco fue diferente entre parcelas testigo o fertilizadas.

Cuadro 4. Contenido de K intercambiable ($\text{meq. } 100 \text{ g}^{-1}$) en el suelo para cada especie, según nivel de fertilización con N y P, por profundidad de muestreo.

Fertilización†	<i>P. purpureum</i>	<i>P. virgatum</i>	<i>A. donax</i>	DMS ($p \leq 0,10$) ‡
0 - 20 (cm)				
0 N 0 P	0,45	0,51	0,69	0,12
0 N 100 P	0,46	0,44	0,57	ns
100 N 0 P	0,33	0,41	0,68	0,19
100 N 100 P	0,39	0,34	0,6	0,15
Media	0,4	0,42	0,63	0,06
20 - 40 (cm)				
0 N 0 P	0,43	0,39	0,37	ns
0 N 100 P	0,42	0,39	0,43	ns
100 N 0 P	0,31	0,38	0,35	ns
100 N 100 P	0,42	0,33	0,31	ns
Media	0,4	0,37	0,37	ns
40 - 60 (cm)				
0 N 0 P	0,49	0,35	0,47	0,13
0 N 100 P	0,68	0,79	0,4	ns
100 N 0 P	0,52	0,7	0,93	ns
100 N 100 P	0,43	0,72	0,74	ns
Media	0,53	0,64	0,64	ns

†. Fertilización: 0N, sin agregado de N; 100 N, agregado de 100 kg ha^{-1} N; 0 P, sin agregado de P; 100 P, agregado de 100 kg ha^{-1} P_2O_5 . ‡. DMS: diferencia mínima significativa por test de Fisher.

Al igual que en P_Brayl, en las profundidades mayores a 20 cm no se observaron diferencias en K_{int} entre especies ni a causa de la fertilización (Cuadro 4). Las razones de este comportamiento serían explicadas por la misma razón que lo observado en P. En los tratamientos sin fertilización, sin embargo, el suelo cultivado con *P. virgatum* tuvo menores contenidos de K que *P. purpureum* a la profundidad de 40 a 60 cm. Esto podría deberse a una mayor extracción de K por *P. virgatum* a esta profundidad.

Potasio en la biomasa

La especie *P. purpureum* fue la que tuvo la mayor concentración de K, 1,45 % (Cuadro 5). *Pennisetum purpureum* tuvo altos contenidos de humedad al momento de la cosecha, pudiéndose suponer que el proceso de translocación de los minerales no ocurriese de forma eficiente en esta especie. Los menores contenidos de K en *P. virgatum* podrían atribuirse a lo mencionado por McLaughlin y otros⁽³⁾, quienes observaron que en esta especie la alta relación de tallo:hoja puede favorecer los bajos valores de K en la biomasa, pero esta relación no se cuantificó en este experimento.

La mayor extracción de K la presentó *P. purpureum*, 216 kg ha⁻¹ año⁻¹ y la menor extracción la presentó *P. virgatum*, 16 kg ha⁻¹ año⁻¹. A pesar de la alta extracción de *P. purpureum*, esto no se reflejó en menores valores de

K_{int} en el suelo, que en los cultivos de *P. virgatum*. Es posible que el reciclaje de biomasa senescente sea importante en *P. purpureum* y contribuya en mantener los contenidos de K en el suelo a la profundidad muestreada. *Arundo donax* extrajo 65 kg ha⁻¹ año⁻¹ y fue la especie que presentó mayor contenido de K_{int} en suelo, lo que podría atribuirse al mayor reciclado que generaría este cultivo, al depositar sobre la superficie parte del K absorbido, a través de la senescencia de las hojas. Los valores de exportación de K, en biomasa aquí observados, tienen la misma tendencia y orden de magnitud que los publicados por Siri⁽⁶²⁾.

La concentración de K en la biomasa, de *P. purpureum*, cosechada en 2013 fue mayor a la del año 2012 (Cuadro 5). Es posible que las menores precipitaciones desde enero a marzo del año 2013 provocasen esta mayor concentración de K, al presentar mayor estrés hídrico el cultivo durante el período de translocación. Nassi o Di Nasso y otros⁽¹¹⁾ observaron un incremento de K en la biomasa de *A. donax* debido al estrés hídrico. Este estrés también se vio reflejado en el menor contenido de humedad de los tejidos en el año 2013. Es posible que la formación de heladas haya ocurrido en la segunda semana de abril del año 2013, mientras que en el año 2012 estas ocurriesen en la cuarta semana, lo cual se presupone por las temperaturas mínimas próximas a 5 °C medidas en casilla meteorológica. Las heladas interrumpirían el proceso de

Cuadro 5. Contenido de K (%) en la biomasa para cada especie, por año de cosecha.

Fertilización†	<i>P. purpureum</i>	<i>P. virgatum</i>	<i>A. donax</i>	DMS (p≤0,10) ‡
	2012			
0 N 0 P	1,12	0,1	0,43	0,16
0 N 100 P	1,3	0,15	0,36	0,21
100 N 0 P	1,24	0,09	0,38	0,31
100 N 100 P	1,17	0,08	0,31	0,39
Media	1,21	0,11	0,37	0,11
	2013			
0 N 0 P	1,93	0,05	0,28	0,46
0 N 100 P	1,65	0,12	0,29	0,24
100 N 0 P	1,73	0,08	0,37	0,18
100 N 100 P	1,5	0,15	0,39	0,34
Media	1,7	0,1	0,33	0,12

†. Fertilización: 0N, sin agregado de N; 100 N, agregado de 100 kg ha⁻¹ N; 0 P, sin agregado de P; 100 P, agregado de 100 kg ha⁻¹ P₂O₅. ‡. DMS: diferencia mínima significativa por test de Fisher.

translocación de K desde la parte aérea a los órganos de reserva de estas especies, por lo cual la biomasa cosechada en el 2013 tendría mayor contenido de K.

Nitrógeno en el suelo

El contenido de N_{total} en los primeros 20 cm de profundidad de muestreo fue mayor en el suelo cultivado con *P.purpureum* que en las otras dos especies (Cuadro 6). Lobo⁽⁴⁹⁾ observó mayor acumulación de N orgánico en los primeros 5 cm de suelo cultivado con *P. virgatum* que en suelos cultivados con especies agrícolas anuales, en tres de los cuatro sitios evaluados.

A la profundidad de 20 a 40 cm el contenido de N total fue mayor en las parcelas fertilizadas con N. Las parcelas sin fertilización con P ni N, cultivadas con la especie *P. purpureum*, fueron las de menor contenido. A la profundidad de 40 a 60 cm la especie *A. donax* sin fertilización con N ni P fue la que presentó menor contenido de N total en el

suelo. Estos resultados se deberían a diferencias en el crecimiento radicular entre las especies. No se abordaron en este estudio indicadores que permitan concluir sobre este tema.

Conclusiones

Arundo donax produjo significativamente más biomasa área (18,6 Mg ha⁻¹año⁻¹) que *P. virgatum* y *P. purpureum*, siendo estos rendimientos obtenidos en las tres especies esperables para nuestras condiciones ambientales. En las especies *A. donax* y *P. virgatum* podría estimarse el rendimiento a partir del N° Tm-2 y peso de los mismos. Sin embargo, en *P. purpureum* a partir de estos componentes no se obtendría información suficiente. La fertilización con N aumentó el rendimiento significativamente en *P. virgatum* y *P. purpureum*, pero no en *A. donax*. No hubo respuesta a la fertilización con P, por lo que se puede considerar que el aporte del suelo fue sufi-

Cuadro 6. Contenido de N total (%) en suelo para cada especie, fertilización con N y P, por profundidad de muestreo.

Fertilización†	<i>P. purpureum</i>	<i>P. virgatum</i>	<i>A. donax</i>	DMS (p≤0,10) ‡
0 - 20 (cm)				
0 N 0 P	0,168	0,167	0,185	ns
0 N 100 P	0,171	0,172	0,159	ns
100 N 0 P	0,185	0,169	0,16	ns
100 N 100 P	0,2	0,161	0,167	0,028
Media	0,181	0,167	0,168	0,013
20 - 40 (cm)				
0 N 0 P	0,089	0,113	0,112	0,021
0 N 100 P	0,105	0,103	0,096	ns
100 N 0 P	0,108	0,11	0,117	ns
100 N 100 P	0,118	0,107	0,119	ns
Media	0,105	0,108	0,111	ns
40 - 60 (cm)				
0 N 0 P	0,082	0,086	0,077	0,006
0 N 100 P	0,085	0,075	0,079	ns
100 N 0 P	0,081	0,079	0,093	ns
100 N 100 P	0,083	0,085	0,092	ns
Media	0,083	0,081	0,085	ns

†. Fertilización: 0N, sin agregado de N; 100 N, agregado de 100 kg ha⁻¹ N; 0 P, sin agregado de P; 100 P, agregado de 100 kg ha⁻¹ P₂O₅. ‡. DMS: diferencia mínima significativa por test de Fisher.

ciente. El aumento de P Bray I en la superficie del suelo en los tratamientos fertilizados con P se debería a que la extracción de los cultivos y la fijación del suelo fueron menores al aporte de P por fertilización. Pese a los rendimientos intermedios de *P. virgatum*, esta especie fue la que presentó menor contenido de humedad en la biomasa cosechada, lo que es una característica favorable como materia prima para la producción de energía. Pese a ser cultivos perennes de alta producción de biomasa, esta mayor producción no contribuyó a mayores contenidos de COS y nitrógeno total del suelo en estos primeros 6 años de estudio. Existieron diferencias significativas en la extracción de K y no hubo una clara relación con los valores de K_{int}, por lo que es necesario profundizar en la dinámica de su absorción y deposición en la superficie del suelo a través de la senescencia de los tejidos.

Contribución de los autores

SPG, diseño del experimento, análisis de resultados, revisión del procesamiento estadístico, participación en la interpretación de resultados, corrección en la redacción.

VM, redacción, análisis de resultados, procesamiento estadístico, interpretación de resultados, participación en análisis de laboratorio, participación en tareas de campo.

Bibliografía

1. Angelini LG, Ceccarini L, Nassi o Di Nasso N, Bonari E. Comparison of *Arundodonax*L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass Bioenergy*. 2009;33:635–43.
2. Boehmel C, Lewandowski I, Claupein W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agric Syst*. 2008;96:224-36.
3. McLaughlin S, Bouton J, Bransby D, Conger B, Ocumpaugh W, Parrish D, Taliaferro C, Vogel K, Wullschlegel S. Developing switchgrass as a bioenergy crop. In: Janick J, editor. *Perspectives on new crops and new uses*. Alexandria (VA): ASHS Press; 1999. p. 282–99.
4. Zan CS, Fyles JW, Girouard P, Samson RA. Carbon Sequestration in Perennial Bioenergy, Annual Corn and Uncultivated Systems in Southern Quebec. *Agric Ecosyst Environ*. 2001;86:135–44.
5. Smith RR, Slater FM. Mobilization of minerals and moisture loss during senescence of the energy crops *Miscanthus x giganteus*, *Arundodonax* and *Phalaris arundinacea* in Wales, UK. *Glob Change Biol Bioenergy*. 2011;3(2):148-57.
6. Dragoni FF, Ragolini GG, Nassi o Di Nasso NN, Tozzini CC, Bonari EE. Suitability of giant reed and miscanthus for biogas: preliminary investigations on harvest time and ensiling. *Asp Appl Biol*. 2011;112:291-6.
7. Ukanwoko AI, Igwe NC. Proximate Composition of Some Grass and Legume Silages Prepared in a Humid Tropical Environment. *Int Res J Agric Sci Soil Sci*. 2012;2(2):68–71.
8. Zetina-Cordoba P, Ortega-Cerrilla ME, Ortega-Jimenez E, Herrera- Haro JG, Sanchez-Torres-Esqueda MT, Reta-Mendiola JL, Vilaboa-Arroniz J, Munguía-Ameca G. Effect of cutting interval of Taiwangrass (*Pennisetum purpureum*) and partial substitution with duckweed (*Lemna* sp. and *Spirodela* sp.) on intake, digestibility and ruminal fermentation of Pelibuey lambs. *Livest Sci*. 2013;157(2-3):471-7.
9. Ribeiro LSO, Pires AJV, de Carvalho GGP, Pereira MLA, dos Santos AB, Rocha LC. Fermentation characteristics, chemical composition and fractionation of carbohydrates and crude protein of silage of elephant grass wilted or with addition of castor bean meal. *Ciênc Agrá Londrina*. 2014;35(3):1447–62.
10. Jenkins BM., Baxter LL, Miles Jr TR, Miles TR. Combustion properties of biomass. *Fuel Process Technol*. 1998;54:17-46.
11. Nassi o Di Nasso N, Angelini LG, Bonari E. Influence of fertilisation and harvest time on fuel quality of giant reed (*Arundodonax* L.) in central Italy. *Eur J Agron*. 2010;32(3):219-27.
12. Fike JH, Parrish DJ, Lobo DD, Wolf DD, Balasko JA, Green JT, Rasnake M, Reynolds JH. Long-Term Yield Potential of Switchgrass-for-Biofuel Systems. *Biomass Bioenergy*. 2006;30(3):198-206.
13. Heaton E, Voigt T, Long SP. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass Bioenergy*. 2004;27(1):21-30.
14. Searle SY, Malins CJ. Will energy crop yields meet expectations? *Biomass Bioenergy*. 2014;65:3-12
15. Haque M, Epplin FM, Taliaferro CM. Nitrogen and Harvest Frequency Effect on Yield and Cost for Four Perennial Grasses. *Agro J*. 2009;101:1463–9.
16. Pedroso GM, Hutmacher RB, Putnam D, Six J, van Kessel C, Linquist BA. Biomass yield and nitrogen use of potential C4 and C3 dedicated energy crops in a Mediterranean climate. *Field Crops Research*. 2014;161:149-57.
17. Owens VN, Viands DR, Mayton HS, Fike JH, Farris R, Heaton E, Bransby DI, Hong CO. Nitrogen use in switchgrass grown for bioenergy across the USA. *Biomass Bioenergy*. 2013;58:286-93.
18. Sharma AK, Bharat R, Rai PK, Sharma R. Farmyard Manure and Nitrogen Application at Different Planting Dates on Napier (*Pennisetum purpureum* Shum.). *Environment Ecology*. 2012;30(3C):1185–91.
19. Angelini LG, Ceccarini L, Bonari E. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundodonax* L.) cropped in central Italy

- as related to different management practices. *Eur J of Agron*. 2005;22:375–89.
20. Oliveira T, Pereira JC, Reis C, Queiroz A, Cecon P, Gomes S. Composição químico-bromatológica do capim-elefante submetido à adubação química e orgânica. *Rev Bras Saúde Prod Anim Salvador*. 2011;12(1):32-42.
 21. Boe A, Beck DL. Yield Components of Biomass in Switchgrass. *Crop Sci*. 2008;48(4):1306-11.
 22. Altamirano A, Da Silva H, Durán A, Echevarría A, Panario D, Puentes R. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Vol. 3, Apéndice-parte 2 Descripciones, datos físicos y químicos de los suelos dominantes. Montevideo: Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes; 1976. 280 p.
 23. Viana MA, Siri G. Producción de biomasa de cultivos lignocelulósico según el número de cortes. *Agrociencia Uruguay*. 2018;22(2):13–22.
 24. Jackson ML. Análisis químico de suelos. Barcelona: Ediciones Omega; 1964. 662 p.
 25. Bray RH, Kurtz LT. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci*. 1945;59:39-45.
 26. Murphy J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chem Acta*. 1962;27:31-6.
 27. Bremner JM. Total nitrogen. In: Black CA, editor. *Methods of Soil Analysis*. Madison: American Society of Agronomy; 1965. p. 1149-78.
 28. Tynslley J. *Soil Science: Manual of experiments*. Aberdeen: University of Aberdeen; 1967. 124 p
 29. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini M, Laura G, Margot T, Robledo C. InfoStat [Internet]. Version 2012. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias; 2012 [cited 2019 Jun 13]. Available from: <http://www.infostat.com.ar>.
 30. Falasca S, Flores MN, Galvani G. ¿Puede usarse una especie invasora como *Arundodonax* (caña común) con fines energéticos en Argentina? [Internet]. [place unknown]: INTA; 2011 [cited 2019 Jun 13]. 6 p. Available from: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_arundo_donax_con_fines_energeticos_en_argentin.pdf.
 31. Hall KE, George JR, Riedl RR. Herbage Dry Matter Yields of Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass with N Fertilization. *Agron J*. 1982;74(1):47-51.
 32. Sladden SE, Bransby DI, Aiken GE. Biomass yield, composition and production costs for eight switchgrass varieties in Alabama. *Biomass Bioenergy*. 1991;1(2):119–22.
 33. Olivo CJ, Flores Aguirre P, da Ros de Araújo TL, SchalebergDiehl M, Marques de Bem C, Serafim G. Produtividade e proteína bruta de pastagens de capim elefante manejadas sob os sistemas agroecológico e convencional. *Ciênc Rural, Santa Maria*. 2013;43(8):1471-7.
 34. Alencar CAB, Cunha FF, Martins CE, Cóser AC, Oliveira RA, Araújo RAS. Adubação nitrogenada e estações anuais na produção de capins irrigados no este mineirosob corte. *Rev Bras Saúde Prod Anim*. 2013;14(3):413-25.
 35. Parrish DJ, Fike JH. The Biology and Agronomy of Switchgrass for Biofuels. *Crit Rev Plant Sci*. 2005;24(5-6):423-59.
 36. Allison GG, Morris C, Lister SJ, Barraclough T, Yates N, Shield I, Donnison IS. Effect of nitrogen fertiliser application on cell wall composition in switchgrass and reed canary grass. *Biomass Bioenergy*. 2012;40:19-26.
 37. Palmer IE, Gehl RJ, Ranney TG, Touchell D, George N. Biomass yield, nitrogen response, and nutrient uptake of perennial bioenergy grasses in North Carolina. *Biomass Bioenergy*. 2014;63:218-28.
 38. Xu JJ, Kloepper JW, McInroy JJ, Hu CH, Bonilla RR. Isolation and characterization of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria from *Arundodonax L.* (giant reed). In: Reddy MS, Wang Q, editors. *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Sustainable Agriculture*. Proceedings of the 2nd Asian PGPR Conference; 2011 Aug 21-24; Beijing, China. Beijing: PGPR; 2011. p. 409-15.
 39. Gagne-Bourgue FF, Aliferis KA, Seguin PP, Rani MM, Samson RR, Jabaji SS. Isolation and characterization of indigenous endophytic bacteria associated with leaves of switchgrass (*Panicumvirgatum L.*) cultivars. *J Appl Microbiol*. 2013;114(3):836-53.
 40. Shen H, Wang X, Shi W, Cao Z, Yan X. Isolation and identification of specific root exudates in elephantgrass in response to mobilization of iron- and aluminum-phosphates. *J Plant Nutr*. 2001;24(7):1117–30.
 41. Videira SS, Oliveira D, Morais R, Borges WL, Baldani VD, Baldani JI. Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field. *Plant Soil*. 2012;356(1-2):51-66.
 42. Bulpitt WS. Fuel properties and combustion Theory. In: McGowan TF, editor. *Biomass and Alternate Fuel Systems: An Engineering and Economic Guide*. New Jersey: Wiley; 2009. p. 13-35.
 43. Flores RA, Urquiaga S, Alves JR, Collier LS, Boddey RM. Yield and quality of elephant grass biomass produced in the cerrados region for bioenergy. *Eng Agríc*. 2012;32(5):831-9.
 44. Ji J, Lal R, Jastrow JD, Tyler DD. Nitrogenous fertilizer effects on soil structural properties under switchgrass. *Agric Ecosyst Environ*. 2011;141(1-2):215-20.
 45. Lee DK, Owens VN, Doolittle JJ. Switchgrass and Soil Carbon Sequestration Response to Ammonium Nitrate, Manure, and Harvest Frequency on Conservation Reserve Program Land. *Agron J*. 2007;99:462-8.
 46. Jung JY, Lal R. Impacts of nitrogen fertilization on biomass production of switchgrass (*Panicumvirgatum L.*) and changes in soil organic carbon in Ohio. *Geoderma*. 2011;166(1):145-52.

47. Omonode RA, Vyn TJ. Vertical distribution of soil organic carbon and nitrogen under warm-season native grasses relative to croplands in west-central Indiana, USA. *Agric Ecosyst Environ.* 2006;117(2-3):159-70.
48. Dou FG, Hons FM, Ocumpaugh WR, Read JC, Hussey MA, Muir JP. Soil Organic Carbon Pools Under Switchgrass Grown as a Bioenergy Crop Compared to other Conventional Crops. *Pedosphere.* 2013;23(4):409–16.
49. Lobo PJ. Changes in soil carbon and nitrogen associated with switchgrass production [Master's thesis. Internet]. Texas: Texas A&M University; 2004 [cited 2019 Jun 13]. 117 p. Available from: <http://hdl.handle.net/1969.1/1258>.
50. Schmer MR, Liebig MA, Vogel KP, Mitchell RB. Field-scale soil property changes under switchgrass managed for bioenergy. *Glob Change Biol Bioenergy.* 2011;3(6):439-48.
51. Sarkhot DV, Grunwald S, Morgan CLS, Geb Y. Total and available soil carbon fractions under the perennial grass *Cynodondactylon* (L.) Pers and the bioenergy crop *Arundodonax* L. *Biomass Bioenergy.* 2012;41:122–30.
52. Siri Prieto G, Ernst O, Bustamante M. Impact of Harvest Frequency on Biomass Yield and Nutrient Removal of Elephantgrass, Giant Reed, and Switchgrass. *Bio Energy Res.* 2017;10(3):853-63.