Switchgrass como alternativa energética en el Uruguay[1]

NOTA TECNICA

Guillermo Siri-Prieto*

ESCENARIO ENERGÉTICO MUNDIAL

Las necesidades energéticas están aumentando vertiginosamente debido, entre muchas otras causas, al incremento de la población y del bienestar humano. Las fuentes energéticas de origen fósil (petróleo, carbón, gas natural) siguen y seguirán siendo por mucho tiempo la principal fuente de suministro (Figura 1). Como resultado del uso desmedido de estos recursos no renovables, la calidad del ambiente esta disminuyendo paulatinamente, causado, entre otras razones, por las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto está contribuyendo a los cambios climáticos y, de algún tiempo a esta parte, se ha convertido en uno de los grandes problemas sobre los que discute la opinión pública en general. Como consecuencia, ha surgido un renovado interés por la utilización de recursos renovables como fuentes alternativas de energía, en sustitución total o parcial de combustibles fósiles. En 2010, la energía renovable suministró alrededor del 16% del consumo de energía mundial mencionado en un informe respaldado por Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Para ese año, la inversión en energías renovables alcanzó los U$S 211.000 millones, más de cinco veces la cantidad invertida en 2004. De todas maneras, falta mucho para que más del 50% de la energía sea renovable, por eso las Naciones Unidas se han fijado como objetivo que al menos un 30% de la energía consumida en el mundo en el año 2030 sea de este tipo.

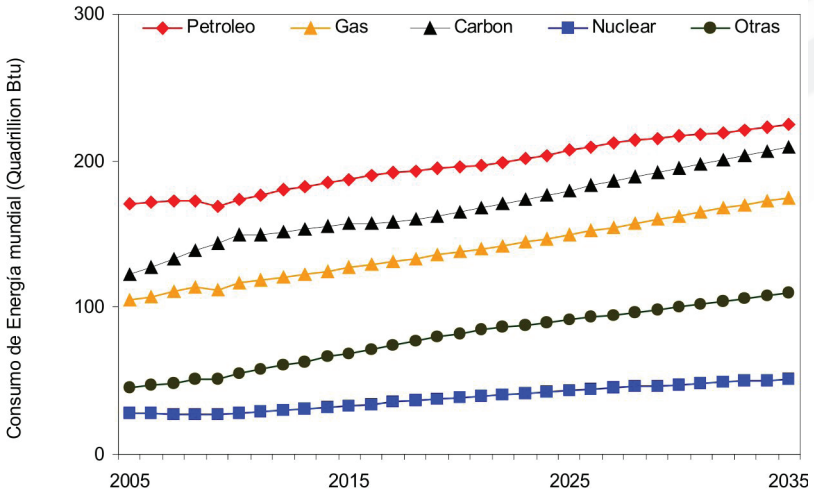

Figura 1. Consumo mundial real (hasta 2008) y estimado (2009-2035) de energía según fuente (International Energy Outlook 2011).

¿Qué son las fuentes de energías renovables?

Son aquellas que luego de ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. Existen varias opciones de fuentes de energía renovable, donde se destacan la eólica (viento), solar (sol), biomasa (vegetación). La energía de la biomasa ha sido usada por miles de años desde que los humanos comenzaron a quemar leña para cocer sus alimentos y calentar ambientes para poder pasar los inviernos. Por supuesto que al día de hoy, millones de seres humanos siguen utilizando dichas prácticas, pero a partir de la revolución industrial, la mayoría de los países industrializados han suplido la demanda de energía a través de combustibles fósiles como petróleo, carbón y gas.

[1] Trabajo financiado parcialmente por el Programa de Desarrollo Tecnológico del DICyT.

* Ing. Agr. (PhD). Dpto. Producción Vegetal. EEMAC.

ESCENARIO ENERGÉTICO NACIONAL

Uruguay no extrae o posee en la actualidad energía no renovable como petróleo, gas natural o carbón. Del total de la energía que se consume, el 57% se origina del petróleo (Figura 2). Consecuentemente, la obtención de otra fuente de energía, más económica, debe tener una prioridad absoluta para nuestro país.

El objetivo energético del país debe ser cubrir las necesidades a partir de fuentes renovables, procurando su independencia energética mediante la implementación de políticas sustentables (económicas y medioambientales). Como es de conocimiento público, el suministro de electricidad en Uruguay ha dependido históricamente de la hidroenergía y plantas de energía térmica (actualmente cerca de 1100 MW). En los últimos 10 años, la hidroenergía ha suministrado un 80% de la demanda de electricidad. Debido a cada vez sequías más frecuentes, y como consecuencia de un incremento en la demanda, la producción de electricidad ya no es suficiente (actualmente la demanda pico de energía es de aproximadamente 1700 MW, creciendo 3% anualmente). Es por ello que UTE está reforzando la capacidad de generación agregando 500 MW nuevos de capacidad térmica con combustibles fósiles (gas natural y fuel oil) y 1000 MW a través de la energía eólica. En Uruguay, la Biomasa, entre otros recursos naturales, está llamada a jugar un rol de importancia para el cumplimiento de los objetivos de diversificación de las fuentes de generación de energía planteados a nivel político.

El sector agropecuario tiene un gran potencial como proveedor de materias primas para la generación de energía a partir de productos (forestación, cultivos energéticos, residuos forestales y/o de cultivos, grano, etc.). Actualmente, se producen grandes cantidades de madera a partir de cerca de un millón de hectáreas de plantaciones forestales que proveen a más de 200 aserraderos. Los residuos de la industria de la madera llegan a las 1,3 millones de toneladas, mientras que los residuos de la cosecha forestal representan otras 1,4 millones de toneladas. Si bien toda esta energía "envasada" en el área forestal tiene un enorme potencial para su uso energético, en este artículo no será analizado.

Otra opción directamente relacionada con la producción agropecuaria, es la producción de cultivos cuyo destino final sea la producción de energía, ya sea para la generación de electricidad, como para la producción de biocombustible. Para ello, el país necesita de manera urgente generar información sobre manejo de estos cultivos y evaluar sus posibles impactos sobre la calidad del suelo en distintos sistemas de producción. El conocimiento generado permitirá adoptar prácticas de manejo que resulten en un país más productivo, menos dependiente energéticamente, más limpio y sin alterar la calidad de los recursos naturales para futuras generaciones. Si bien no es posible pensar en una sustitución radical de los derivados del petróleo, disponemos sí de los recursos naturales para la producción de energía para sustituir parte de los combustibles fósiles.

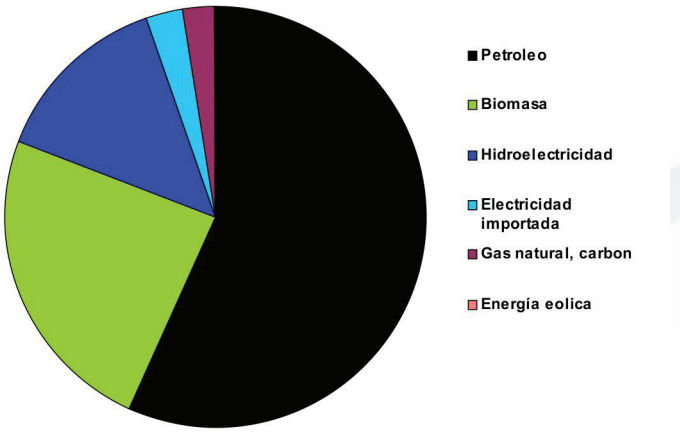

Figura 2. Abastecimiento de energía promedio interanual 2005-2010 en el Uruguay.

LA BIOMASA Y LA ENERGÍA

La producción mundial de biomasa es estimada en unos 150 mil millones de toneladas al año, mayormente plantas silvestres (selva del Amazonas); sin embargo, hay muchos estudios donde cultivos anuales o plantaciones forestales, han alcanzado producciones de 30 a 40 toneladas ha^{-1}. Existe mucha discusión sobre la conveniencia o no del uso de biomasa para la generación de energía. Dentro de las ventajas

se destacan, la reducción del uso del petróleo por sustitución, reedinamizan las economías rurales y el sector industrial generando empleo, y resultando en menores emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2, óxido nitroso, metano, etc.), permitiendo el acceso a los beneficios del MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio) del Protocolo de Kyoto y al mercado de bonos de carbono. Por otro lado, las desventajas están en la posible influencia en el costo de los alimentos por una mayor competencia por recursos (tierra, agua, etc.), contaminación, etc.

Resulta obvio, que para que un cultivo energético se expanda debería presentar ciertas características imprescindibles, como poseer una buena adaptación al clima y suelo, y por lo tanto alcanzar buenos niveles productivos, ser rentable, poseer balances energéticos positivos y ser su producción amigable con el ambiente.

A la biomasa como fuente de energía se la diferencia en dos grupos: a) Húmeda (>60% humedad) y b) Seca (<60% humedad). La húmeda resulta adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos (fermentación) o físicos (extracción de aceites), obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos. La seca, se presta mejor para ser utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos (combustión, pirólisis, gasificación y liquefacción) que producen directamente energía térmica o combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

El método más simple y barato para obtener energía de la biomasa es por combustión directa. Es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Éste permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos (cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina para luego puede producir electricidad a través de turbinas).

Para obtener la máxima energía y más eficiente, la humedad debe ser minimizada. Es por ello que el costo de recolección, transporte y almacenamiento es crucial en este tipo de material energético. Para los cultivos lignocelulósicos o materiales residuales, ya sea en la cosecha, o en el mismo proceso industrial, implica tener la necesidad de recoger y/o cosechar para lograr almacenar la biomasa. Uno de los problemas que tiene la biomasa húmeda es su baja densidad. Esta característica lleva a que el costo de transporte aumente, ya que hay que gastar más energía para lograr el mismo suministro energético que con otro tipo de combustibles. Para solucionar este problema, se puede aumentar la densidad de la biomasa. Existen varios procesos para intentar resolver este problema, los que se basan en la compactación de la biomasa (por ejemplo, pelletizado). Esto tiene implícito un costo energético que lo puede hacer no rentable para su utilización como fuente de energía.

Un aspecto muy importante dentro de las consideraciones de los cultivos energéticos, es el balance de energía. Todos los cultivos fijan energía a través de la fotosíntesis, pero se necesita una buena cantidad de energía proveniente de diversas fuentes externas (por lo general petróleo y sus derivados) para su siembra y manejo, entre otras actividades. Estos balances de energía, presentan la ventaja comparados a los balances económicos, de la invariabilidad de los datos energéticos en el tiempo frente a las fluctuaciones de valor de las monedas. Al realizar balances energéticos sobre algunos cultivos agrícolas, no resulta extraño encontrar resultados netos negativos, es decir, un consumo de energía en el proceso del cultivo mayor que el que se produce como biomasa. En esta situación se pueden encontrar cultivos que resulten enormemente rentables desde el punto de vista económico, pero no energético y ahí comienza el dilema de qué sentido tiene generar energía, cuando en el fondo, su

gasto es mayor. En general, se puede considerar que el contenido energético de la biomasa puede oscilar entre los 16-17 MJ kg^{-1}. Considerando rendimientos de cultivos lignocelulósicos como Miscanthus o Caña Común de 30 Mg ha^{-1}, podemos considerar producciones de energía de 50 GJ ha^{-1}, con una balance muy positivo de energía (40-45).

¿QUÉ SON LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS?

Los cultivos energéticos son plantaciones de crecimiento rápido cuyo destino es producir energía de algún tipo: térmica, eléctrica o biocombustible. A su vez, tiene que tener como condición la obtención de la máxima cantidad neta posible de energía de forma rentable y lograr que el balance sea positivo (diferencia entre energía consumida en todo el proceso de producción y energía generada por unidad de superficie o de peso). Es deseable que posean una alta eficiencia fotosintética y se logre en el proceso de su producción, un balance aparente de nutrientes lo más cercano a cero.

Una de las ventajas de este tipo de cultivos es su gran potencial de producción de biomasa, y la posibilidad de fijar gran cantidad de carbono en el suelo a través de la gran cantidad de producción de raíces (Liebig *et al*., 2005). Los cultivos energéticos incluyen a la producción con especies forestales de rápido crecimiento usando altas densidades, pudiendo alcanzar rendimientos entre 10 a 13 Mg ha^{1} $año^{1}$ de biomasa aérea en suelos de no muy alta productividad. Dentro de estos cultivos están especies como el álamo *(Populus)*, sauce *(Salix)* y el eucalipto *(Eucalyptus)*, los que pueden ser cosechados en pocos años. Por otro lado, residuos industriales de estas plantaciones forestales como lo son chips, aserrín, ramas, costaneros, viruta, etc., ya están siendo usados con propósito energético, principalmente para la generación de electricidad.

Dentro de los cultivos energéticos, están las gramíneas perennes pertenecientes a los cultivos lignocelulósicos. Éstos pueden aprovechar suelos no muy aptos para cultivos alimentarios y que no se estén utilizando en la actualidad. El complejo multicelulósico está compuesto principalmente de una matriz de carbohidratos compuesta de 35-50% celulosa, 20-35% hemicelulosa, y 12-20% lignina. La celulosa contiene largas cadenas de glucosa que pueden ser cortadas mediante hidrólisis con agua, cuando son catalizadas por enzimas conocidas como celulasas o mediante ácidos. La hemicelulosa es una cadena amorfa con mezcla de azúcares, cuyas cadenas son más fáciles de romper que la celulosa (Lynd *et al*., 2003). Las gramíneas perennes presentan muchas ventajas sobre los cultivos anuales, entre los cuales figuran bajo costo de establecimiento del cultivo (cada 10 años aproximadamente), disminución del potencial de erosión de suelos, incrementar la calidad de las aguas, mejorar la vida silvestre (McLaughlin *et al.*, 2002).

A su vez, los cultivos energéticos pueden transformarse en biocombustibles a través de procesos físicoquímicos. Los dos productos más desarrollados y empleados como biocombustibles son el bioetanol y el biodiesel. El bioetanol es un etanol producido a partir de la fermentación de los azúcares. Las materias primas pueden producir directamente azúcares simples, como la caña de azúcar o el sorgo dulce, o producirlo a partir de hidrólisis del almidón de los granos (maíz, trigo, etc.).

En el presente trabajo se analiza la producción de biomasa lignocelulósica a través del cultivo de switchgrass, como materia prima para su posterior utilización como combustibles (independiente de la tecnología que se aplique). Es decir, la biomasa una vez cosechada es transportada a una instalación industrial para su transformación en un combustible o directamente en calor y/o electricidad.

EL CULTIVO DE *SWITCHGRASS*

Características generales

Gramíneas perennes estivales de rápido crecimiento han sido identificadas como candidatas ideales para la producción de biomasa y, por lo tanto, para generar energía a bajo costo. El switchgrass *(Panicum virgatum L.*), es una gramínea perenne estival C_4 originaria de Norte America, ideal como fuente de biomasa por su alta productividad, gran longevidad, alta eficiencia de uso del agua y nutrientes y bajo costo de producción, entre otras características. En

Estados Unidos, las primeras variedades fueron seleccionadas para conservación del suelo y luego para forraje, y desde 1985 están siendo estudiados como cultivo energético para la producción de etanol y la generación de electricidad. Poseen un sistema radicular muy extenso (más de un metro de profundidad), pueden alcanzar una altura de 2,5 m, con hojas de 30 a 90 cm de largo. Una vez establecidas, las plantas pueden vivir por unos 10 años. No necesitan suelos muy fértiles, teniendo altos rendimientos en suelos marginales. Generalmente son consideradas muy eficientes en el uso de los recursos, un cultivo de bajos insumos para producir energía a través de la celulosa y hemicelulosa. Han sido comparadas con otros cultivos lignocelulósicos como son *Miscanthus sp*. y la caña común, presentando ventajas frente a éstas por su fácil propagación (semilla) y su menor costo de implantación. Muchos trabajos muestran que logran valores muy altos de balances de energía como 20 a 1 (producto e insumo, respectivamente) y pueden producir unos 18,5 GJ de energía por Mg de biomasa. Además el switchgrass puede ser densificado como pellets y ser usado como fuente de energía para la generación de calor en hogares y/o industrias, practica muy usada en Europa.

Productividad y su impacto en la sostenibilidad

Si bien muchos trabajos han mostrado respuestas positivas al régimen hídrico (más agua) en la estación de crecimiento, cuando se presentan niveles adecuados de nitrógeno en el suelo (Figura 3), otros autores lograron resultados no tan contundentes con respecto a la necesitad de agua cuando se lo cosecha sólo una vez al año.

Al igual que con la agricultura para granos, la producción de energía a partir de la fotosíntesis, debe ser desarrollada utilizando estrategias y manejos apropiadas para el uso sustentable del recurso suelo, siendo el secuestro del carbono vía fotosíntesis una de los objetivos (Freibauer *et al.*, 2004). Mantener y mejorar la calidad del suelo es trascendental si la productividad de la agricultura y su calidad ambiental quieren ser mantenidas para futuras generaciones.

Pero por otro lado, el mayor uso de tecnologías, así como de insumos en una agricultura bioenergética pueden compensar y/o enmascarar pérdidas de productividad asociadas con pérdidas de calidad de los suelos. Además, este mayor uso de insumos no sólo puede reducir la rentabilidad de los cultivos sino que puede aumentar el riesgo potencial a un deterioro de la calidad ambiental.

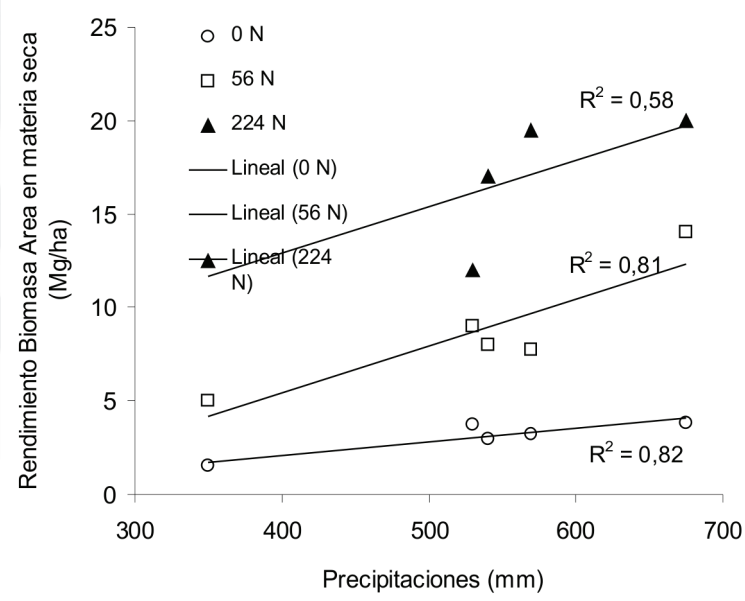

Figura 3. Relación entre producción anual de biomasa área de *switchgrass* y precipitaciones en verano en el hemisferio norte (marzo-agosto) para una serie de años (1994-1998) según manejo del nitrógeno en Texas, EEUU. (Muir *et al*., 2001).

La adición de carbono orgánico al suelo por medio de la gran cantidad de raíces que genera esta especie, ha tenido un enorme impacto sobre la calidad la conservación del mismo por la reducción de la erosión. Estos impactos positivos han sido: mejorar la estructura del suelo, incrementar la capacidad de agua disponible del suelo, aumentar la infiltración, y disminuir la erosión a través de una cobertura durante todo el año. La máxima profundidad de enraizamiento de un cultivo de switchgrass en praderas naturales de Estados Unidos es de 2,6 - 3,7 m profundidad. Además de la reducción de la erosión de suelo, el switchgrass ha jugado un rol importantísimo en la estabilización de los suelos en zonas de arroyos y tierras bajas de los Estados Unidos, debido a la gran densidad de tallos y raíces. Muchos autores sugieren que el potencial de secuestrar carbono a través de los cultivos energéticos como el *switchgrass* es mucho mayor y más eficiente que la agricultura convencional. Trabajos como los de Zan *et al.*, 2001 en los que se evaluó la capacidad de secuestrar carbono por maíz sembrado todos los años y switchgrass bajo diferentes sistemas de producción, encontraron que maíz tuvo 1,23 mayor producción de biomasa área que switchgrass, pero la producción de raíces de este último fue 4,62 veces mayor que en el maíz. Otros trabajos han mostrado que el 72% del total del carbono que se fija vía fotosíntesis, queda en el sistema radicular, llegando a triplicar a la generación de biomasa área en el caso de *switchgrass* (Figura 4). En sólo un año se produjeron 22 Mg ha^{-1} de biomasa, por lo tanto, fijaciones de C en el suelo cercanos a 8,5 Mg C ha^{-1}.

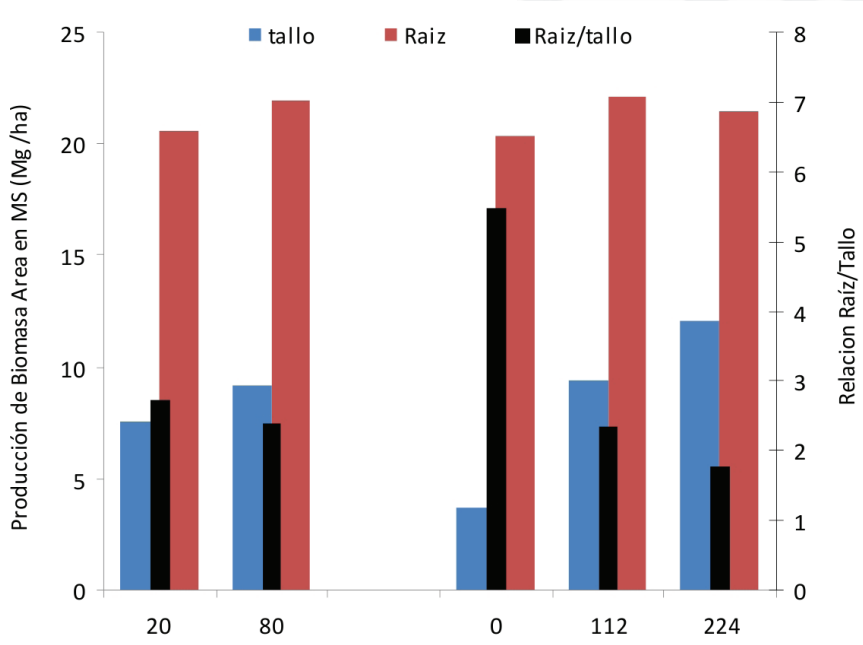

Figura 4. Producción de biomasa área de switchgrass y relación raíz/tallo según manejo de la distancia entre hileras (20 y 80 cm) o manejo de la fertilización nitrogenada (0, 112 y 224 kg/ha) (Ma *et al*., 2001).

Otros estudios realizados en el Medio Oeste de Estados Unidos, donde el objetivo fue examinar los cambios de carbono orgánico del suelo, mostraron que luego de 5 años de gramíneas perennes, éstas agregaron 1,1 Mg ha^{1} $año^{1}$ de carbono en los primeros 3 m del perfil. Esto significó para esos sitios, una recuperación de 23% del carbono del suelo perdido durante décadas debido al laboreo y la agricultura convencional. Otra característica muy destacada en la bibliografía, es que este cultivo presenta muy baja incidencia de enfermedades y plagas, por lo que la producción de biomasa para fines energéticos tiene muy baja demanda de agroquímicos.

Un aspecto clave en un manejo sostenible, es la decisión de cuándo cosechar este tipo de cultivo. Muchos trabajos han demostrado que el momento mejor de corte, minimizando la extracción de nutrientes, es luego de un período invernal. Este cultivo al ser perenne estival, recicla gran cantidad de nutrientes en sus raíces y/o en la base de los tallos para el rebrote de la estación siguiente de crecimiento. Este manejo hace que la exportación de muchos nutrientes contenidos en las hojas y tallos cosechados sea la más baja posible (Cuadro 1). Si bien este corte tardío repercute

en la concentración de todos los nutrientes en general, resulta más que importante en el reciclaje de K, donde en cosechas tardías se reduce un 80% la exportación de este nutriente. Además, los cortes tardíos (luego de un periodo de heladas) presentan tenores de humedad bajos en los residuos cosechados comparados a cosechas antes del invierno, en las que todavía es fácil de llegar a valores por encima de 50% de humedad.

Cuadro 1. Rendimiento de biomasa área y residuos aéreos no cosechados de *switchgrass*, y contenido de N, P, K y Mg en la biomasa cosechada según momento de cosecha (otoño o invierno) en Pensilvania, EEUU. (Adaptado de Adler *et al.*, 2006).

Momento de cosecha	Rendimiento Biomasa	Residuos no cosechados	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	
	Mg ha^{-1}			g Kg^{-1}		
Otoño	6,98 a	1,31 b		6,21 a	0,89 a	3,33 a
Primavera	4,38 b	3,59 a		5,40 b	0,52 b	0,59 b
	Cenizas	**Lignina**	**Celulosa**	**Hemicelulosa**	**Etanol**	
		g Kg^{-1}			l Mg^{-1}	
Otoño	34,2 a	147 b		306 b	272 b	427 b
Primavera	24,7 b	178 a		338 a	296 a	440 a

RESULTADOS PRELIMINARES OBTENIDOS EN URUGUAY

El grupo de Cereales y Cultivos Industriales de la EEMAC, perteneciente a la Facultad de Agronomía ha venido investigando, desde 2007, en la evaluación de diferentes manejos del cultivo de switchgrass, como distancia entre hileras, fertilización N-P, momento y cantidad de cortes. El objetivo es evaluar su potencial de rendimiento como sistema de producción de energía y su efecto en la calidad del recurso suelo. El proyecto se inició a partir de un llamado concursable denominado "Biocombustibles líquidos a partir de cultivos no tradicionales en el Uruguay", financiado por Programa de Desarrollo Tecnológico del MEC conjuntamente con otros servicios de la Universidad de la Republica (FCIEN, FQ, FING) y el INIA.

En la Figura 5 se resume el impacto del número de cortes (1 y 2) por año sobre la producción anual de biomasa.

En los primeros años, la producción de biomasa área fue muy baja, ya que es el año de implantación del cultivo, pero al tercer año de evaluación, ya se lograron rendimientos muy elevados, cercanos a las 24 Mg ha^{-1}. A su vez, con un solo corte por año se lograron rendimientos más altos que con dos cortes, aunque en el 2011, estas diferencias se redujeron. Obviamente, se necesitan más años de evaluación, pero estos resultados demuestran el elevado potencial de producción de biomasa aérea de este cultivo en las condiciones de clima y suelo del Uruguay.

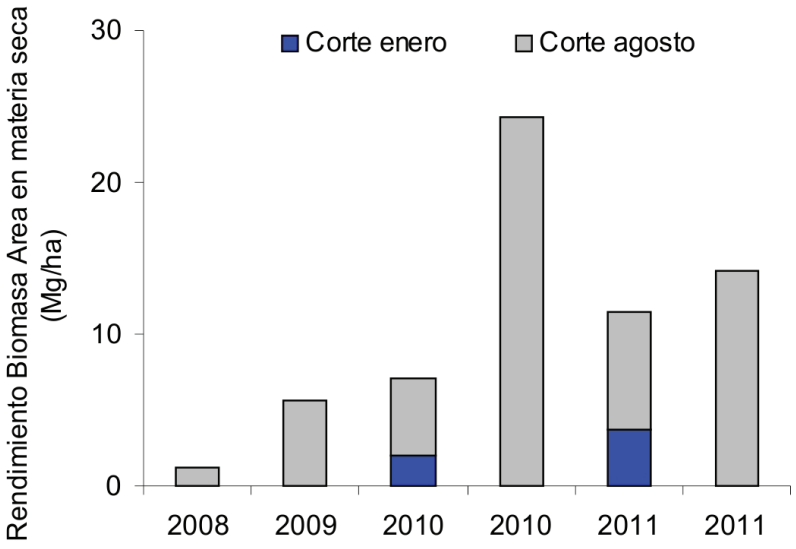

Figura 5. Producción de biomasa área de *switchgrass* según número de cortes por año (enero comparado contra enero y agosto) en el ensayo de rotaciones de la EEMAC, Paysandú. Uruguay. (2007-2011).

En otro ensayo, en el que se busca optimizar el rendimiento del cultivo en respuesta al agregado de nitrógeno y fosforo, se observa que recién en la evaluación del cuarto año (2011) se encontró respuesta al agregado de N-P. Cabe resaltar el nivel de producción de biomasa área generada sin el uso de nutrientes.

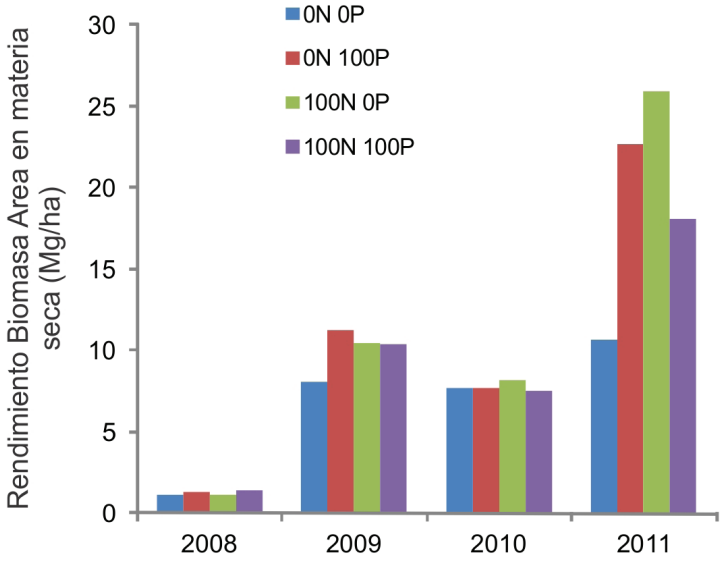

Figura 6. Producción de biomasa área de switchgrass según fertilización N-P en el ensayo de rotaciones de la EEMAC (2007-2011).

Si consideramos que la biomasa de switchgrass posee 18,5 GJ de energía por Mg de biomasa y considerando que el promedio de producción estos dos experimentos fue de aproximadamente unas 18 Mg ha^{-1}, se estaría produciendo en la portera del establecimiento (no se consideran los otros gastos energéticos para la producción de biocombustible) aproximadamente unos 330 GJ ha^{-1}. Esto significa 46 barriles de

petróleo ha^{-1} al año. Por lo tanto, este cultivo presenta un excelente potencial para generar energía, lo que permitiría disminuir la importación de combustibles fósiles protegiendo al ambiente. Para el Uruguay, que importa aproximadamente unos 20 millones de barriles de petróleo al año, equivaldría a sembrar unas 400 mil hectáreas de este cultivo para sustituir todas las importaciones de petróleo. Resulta obvio que no se plantea sembrar esta área, pero si se podría plantear escenarios futuros con un recorte en la importación de petróleo del 25% (unos U$S 400 millones) que representarían unas 100 mil hectáreas sembradas de este tipo de especie lignocelulósica. Si se logra un manejo racional (buenas prácticas agrícolas, sitios bien seleccionados, etc.) se podría abrir una oportunidad única para la generación de energías renovables de gran potencial y a su vez fijando grandes cantidades de carbono para aumentar la calidad de los suelos.

CONSIDERACIONES FINALES

En base a la información internacional, el switchgrass presentaría un potencial muy alto para generar biomasa y por lo tanto comenzar a transitar el camino de la producción de energías renovables, sustituyendo parcialmente los combustibles fósiles. Esta nueva ruta nos podrá llevar a una independencia energética en un futuro no muy lejano, pero la capacidad e inteligencia que pongamos todos los involucrados para que estos nuevos "combustibles verdes" sean sostenibles en el mediano plazo, es y será la clave del éxito. Resulta obvio que la selección de los cultivos lignocelulósicos para la generación de energía debe estar fundamentada principalmente en la adaptabilidad de la especie a condiciones edáficas y climáticas del Uruguay. Además deben presentar balances positivos de energía, por lo que el rendimiento es la clave. Los resultados preliminares obtenidos en Uruguay hacen de este cultivo muy promisorio para nuestras condiciones.

Pero no hay que olvidar que las posibles zonas o regiones del Uruguay en las que pueda instalarse el switchgrass, deben de tener la capacidad de resiliencia, para volver a ser sistemas agroalimentarios y con gran potencial de producción, ya que seguramente, en un futuro no muy lejano, la energía no se producirá por vía fotosintética. Por tanto, el camino de fijación de energía por las plantas seguirá teniendo como fin específico, la 'fabricación' de alimentos y no de energía para otros usos. Mucho dependerá de las decisiones políticas que se tomen en el futuro, pero se debería pensar en un mundo sin hambre antes que priorizar que unos pocos tengan mucha energía 'empaquetada' a costa de seres humanos sin su comida diaria.

BIBLIOGRAFÍA

ADLER, P.; SANDERSON, M. A.; BOATENG, A. A.; WEIMER P. J.; JUNG, H. G. 2006. Biomass Yield and Biofuel Quality of Switchgrass Harvested in Fall or Spring. Agronomy Journal. 98:1518-1525.

FREIBAUER, A.; ROUNSEVELL M. D. A.; SMITH, P.; VERHAGEN J. 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. Geoderma. 122:1-23.

IINTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK. 2011. En http://www.eia.gov/ forecasts/ ieo/pdf/ 0484(2011).pdf

LIEBIG, M. A.; JOHNSON, H. A.; HANSON, J. D.; FRANK, A. B. 2005. Soil carbon under switchgrass stands and cultivated cropland. Biomass and Bioenergy. 28:347–54.

LYND, L. R.; LAVE, L.; GREENE, N. 2003. Cellulosic ethanol fact sheet. National Commission on Energy Policy Forum: The Future of Biomass and Transportation. Washington, DC In: www.energycommission.org/files/ final Report /IV.4.c%20-%20Cellulosic%20Ethanol%20Fact%20Sheet.pdf.

MA, Z.; WOOD C. W.; BRANSBY, D. I. 2001. Impact of row spacing, nitrogen rate, and time on carbon partitioning of switchgrass. Biomass and Bioenergy. 20:413-419.

McLAUGHLIN, S. B.; DE LA TORRE UGARTE, D. G.; GARTEN Jr C. T; LYND, L. R.; SANDERSON, M. A.; TOLBERT, V. R.; WOLF, D. D. 2002. High value renewable energy from prairie grasses. Environmental Science. Technology. 36:2122–2129.

MUIR, J.P.; SANDERSON, M. A.; OCUMPAUGH, W. R.; JONES, R. M.; . REED, R. L. 2001. Biomass Production of 'Alamo' Switchgrass in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Row Spacing. Agronomy Journal. 93:896-901.

ZAN, C.S.; FYLES, J. W.; GIROUARD, P.; SAMSON, R. A. 2001. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in southern Quebec. Agriculture, Ecosystems & Environment. 86(2):135-144.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer a todos los funcionarios de la EEMAC, en especial a Juan Acevedo, Edith Elliot y Juan Mosqueira por la dedicación y esfuerzo en los trabajos de campo y laboratorio.

ir a sumario