



PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y ETANOL A PARTIR DE *EUCALYPTUS* EN PLANTACIONES DE ALTA DENSIDAD

Fernando Resquín¹, Cecilia Rachid¹, Andrés Hirigoyen¹,
Javier Doldán², Mary Lopretti^{3,4}, Silvana Bonifacino³,
Luciana Buxedas³, Sylvia Vázquez³,
Alejandra Sapolinski⁴, Mariana Gonzalez⁴,
Leonidas Carrasco-Letelier⁵, Fabián Capdevielle⁶.

¹Programa Nacional de Producción Forestal INIA,

²Depto. Forestal, LATU

³Laboratorio de Bioquímica y Biotecnología, Facultad de Ciencias, UdelaR,

⁴I&D de Biotecnología, LATU

⁵Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental, INIA

⁶I&D, TEYMA

INTRODUCCIÓN

La diversificación de las fuentes de energía de Uruguay es un objetivo de largo plazo. En ese sentido se han explorado recientemente diversas alternativas energéticas, entre las cuales los biocombustibles se han identificado como una opción a explorar. Sin embargo, esto no significa que cualquier cultivo categorizado como fuente de biomasa o biocombustible sea en sí mismo una solución sostenible. Antes se debe demostrar que posee, al menos, la capacidad de generar una cantidad

de energía superior a la energía invertida en su producción; ser económicamente rentable y no generar impactos ambientales inaceptables. Para responder a todo esto se deben evaluar y optimizar tanto la fase agrícola (producción de la biomasa) como la fase industrial (transformación de la biomasa a biocombustible). De las dos fases mencionadas, la fase agrícola es fundamental ya que la investigación agronómica permitiría identificar las condiciones y la extensión de los cultivos. Esto, en definitiva, definiría la escala agroindustrial que se podría implementar.

En la optimización de la fase agrícola se busca tanto maximizar la producción de biomasa como obtener una biomasa de una calidad determinada para sus condiciones de uso. En estas áreas, tanto la Facultad de Agronomía (UdelaR) como INIA han realizado investigaciones en cultivos de sorgo dulce, sorgo en grano y boniato (Carrasco-Letelier *et al.*, 2013; Siri-Prieto, 2012a, 2012b).

En el año 2012, INIA a través del proyecto titulado “Evaluación de la sostenibilidad de cadenas agroindustriales potenciales para la producción de agroenergía” evaluó si la energía generada por algunos cultivos (sorgo en grano, sorgo dulce, boniato, *Eucalyptus*) era superior a la energía invertida en su producción. En la mayor parte de los cultivos evaluados existía información de estudios realizados en las condiciones de producción de Uruguay, con excepción del caso del uso de madera de *Eucalyptus*.

Para ese estudio, como no se contó con información de una fase agrícola de cultivos de *Eucalyptus* similares a las requeridas para la producción de biomasa, se utilizó la situación productiva más próxima: un cultivo forestal para celulosa (1200 árboles/hectárea, con cosecha de cultivo a los ocho años). Aunque esta aproximación tuvo una tasa de retorno energético de 4,06 es lejana a un cultivo forestal para biomasa, que tendría una mayor densidad de plantación, y una edad de corte de entre dos y cuatro años.

PLANTACIONES FORESTALES DE ALTA DENSIDAD DE INIA

De los cultivos potenciales para el desarrollo de biomasa y biocombustibles, los forestales presentan como ventaja principal el hecho de que no compiten por suelos de aptitud agrícola. Como principal desventaja, a su vez, está el hecho de que actualmente no existe una planta industrial (bio-refinería) en el país que permita

transformar la madera en un combustible líquido (biocombustible) y otros productos de alto valor agregado.

Para evaluar de mejor forma las ventajas y desventajas de lo que ofrece una forestación para energía, INIA está ejecutando el proyecto “Evaluación productiva y ambiental de plantaciones forestales para la generación de bioenergía”, desarrollado junto a Facultad de Ingeniería, LATU, Facultad de Ciencias y TEYMA, y con la financiación del Fondo Sectorial de Energía (ANII) y el apoyo de una empresa forestal.

Se instalaron plantaciones experimentales con cuatro especies de *Eucalyptus* (*E. benthamii*, *E. dunnii*, *E. grandis* y *E. tereticornis*), en cuatro densidades de plantación (2220, 3330, 4440 y 6660 árboles/ha), en dos tipos de suelo de aptitud forestal CONEAT 7.1 y 9.3 (Tacuarembó y Paysandú, respectivamente).

Los objetivos fueron los siguientes:

- (i) identificar especies y densidades de plantación de interés para maximizar la producción de biomasa y energía.
- (ii) evaluar la factibilidad de producción de etanol (bioetanol, por provenir de una materia prima biológica).
- (iii) caracterizar la rentabilidad energética de estos cultivos.
- (iv) identificar los impactos ambientales principales a escala predial, en particular sobre la fertilidad de estos suelos.

RESULTADOS

Al revisar la producción de biomasa expresada en volumen (Figura 1) o masa por hectárea (Figura 2), se encuentra un comportamiento similar entre algunas de las especies evaluadas, así como un incremento de la producción al elevar la densidad de plantación.

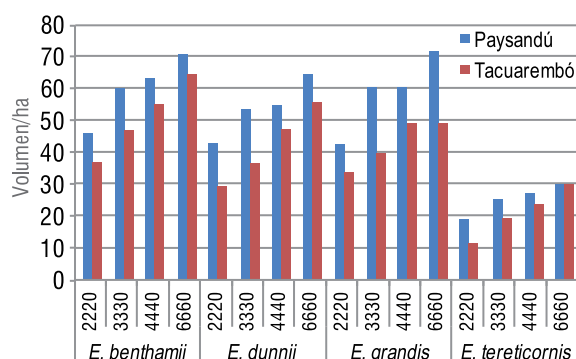


Figura 1 - Volumen de la madera producida, expresada en metros cúbicos por hectárea.

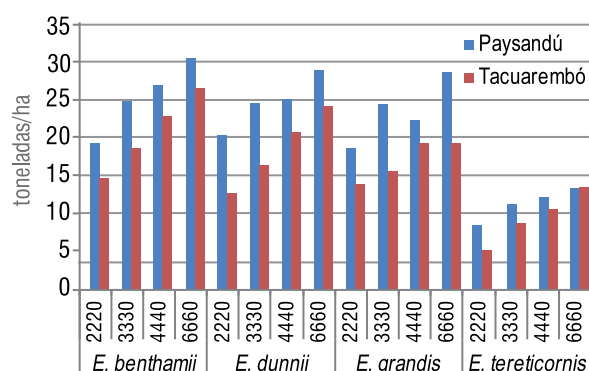


Figura 2 - Biomasa producida, expresada en toneladas por hectárea.

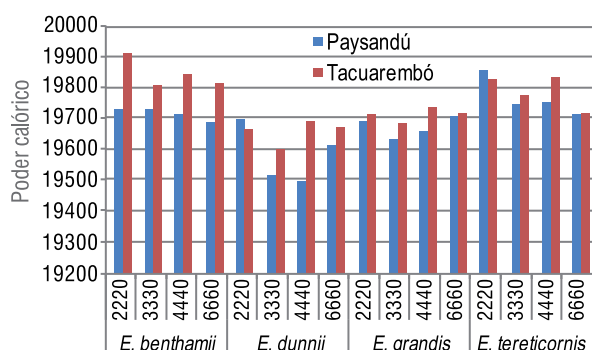


Figura 3 - Poder calorífico superior de la madera, expresado en Joules por gramo de madera.

E. tereticornis presenta una producción muy baja, tanto en las plantaciones de Paysandú como en las de Tacuarembó. En términos generales, las plantaciones de Paysandú presentan mejores resultados.

Al analizar el poder calorífico como medida de evaluación del contenido energético, característica que expresa la energía que se encuentra almacenada en la estructura química de la madera (Figura 3), se observa que los valores mayores se logran con *E. benthamii* y *E. dunii* en las plantaciones de las dos zonas evaluadas, sin diferencias importantes en las diferentes densidades de plantación. Las evaluaciones del poder calorífico son una información muy relevante, ya que mostraron tener un rango de valores (7148-9765 MJ/m³) muy amplio y diferente al valor que se tenía de referencia de 7425 MJ/m³ (Romanelli et al., 2010).

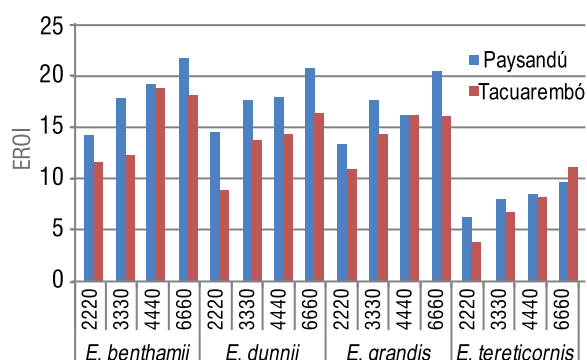


Figura 4 - Tasa de retorno energético o EROI (energy returned on energy invested).

Dado que el objetivo es evaluar su factibilidad como cultivo energético, se estima la tasa de retorno energético EROI (Figura 4), la cual permite definir si en realidad lo producido es rentable o no en términos de balance de energía. Este parámetro expresa las unidades de energía producidas por cada unidad de energía invertida por hectárea en un lapso de dos años. Para este cálculo se considera la energía invertida de la fase agraria del cultivo de *Eucalyptus*, y también la energía contenida en la biomasa, basado en el valor respectivo de poder calorífico superior (PCS) de cada madera.

En los casos estudiados, los valores de EROI se encuentran en el rango de 3,4 a 25,6 mostrando un importante aumento en comparación con los resultados de la evaluación del EROI de la plantación de celulosa, previamente mencionada, que fueron próximos a cuatro. Los valores de EROI se vieron incrementados al elevar la densidad de la plantación y por el momento, las especies con mejor EROI fueron *E. benthamii*, *E. dunii* y *E. grandis* provenientes del ensayo de Paysandú.

La evaluación de la calidad de la biomasa producida en relación a la producción de bioetanol, se realizó mediante el proceso de sacarificación y fermentación en simultáneo (SFS), sin tratamiento previo de deslignificación. No se evidencian diferencias significativas entre especies y condiciones de cultivo ensayadas, presentando valores de rendimiento del proceso en el entorno del 30%, lo cual representa una producción de



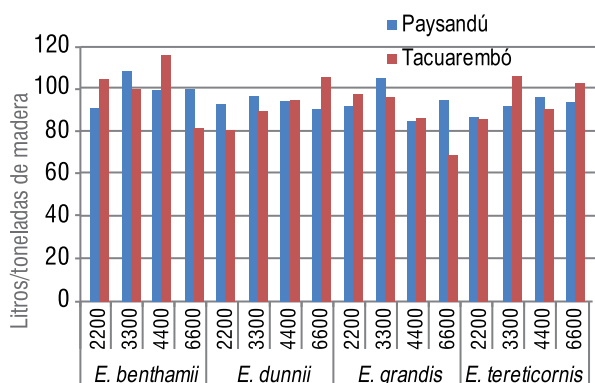


Figura 5 - Producción de etanol en litros por tonelada de madera para las especies y densidades de plantación en Tacuarembó y Paysandú.

alcohol promedio (para todas las especies y densidades de plantación) de 95 litros por tonelada de madera. Los resultados de la producción de etanol se muestran en la Figura 5. En general no son valores altos, hecho que puede deberse a la falta de pretratamiento sobre la madera.

La experiencia desarrollada en este proyecto se transfirió en un curso de posgrado teórico-práctico titulado "Evaluación de especies energéticas para la producción de Bioetanol" dictado en el LATU y el Laboratorio de Bioquímica y Biotecnología (C.I.N., Facultad de Ciencias, Udelar), con participación de investigadores del LATU, Facultad de Ciencias (Udelar), Facultad de Agronomía (Udelar), TEYMA, ANCAP, INIA e investigadores invitados de la Universidad de San Pablo (Brasil).

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de este proyecto permiten identificar las principales diferencias entre los cultivos forestales para energía.

Los altos valores de EROI, por un lado, son un resultado promisorio y, por otro, un llamado de atención, ya que podrían implicar una importante exportación de nutrientes del suelo. De existir una depreciación acelerada de la fertilidad del suelo, la misma debería ser evaluada y descontada del EROI.

Los resultados de la producción de alcohol en general son bajos, pero establecen que es posible pensar en el

uso de esta biomasa como fuente de alcohol, basado en su contenido de celulosa. De los resultados obtenidos surge que se deberían evaluar procesos de deslignificación que permitan aumentar el rendimiento de sacarificación, para de esta forma incrementar la producción de alcohol.

Los datos del contenido de energía de la madera muestran un amplio rango, lo que indica el diferente potencial de las distintas biomásas evaluadas.

REFERENCIAS

Carrasco-Letelier, L. Vázquez, D., D' Ottone, F., Resquín, F., Scoz, R. Vilaró, F., Rodríguez, G., Vicente, E., Terra, J. 2013. Balance energético de cadenas agro-industriales de interés para la producción de bioenergías Revista INIA 32, 46-50.

Romanelli, T., Milan, M. Energy Performance of a Production System of Eucalyptus. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental 14, 896-903.

Siri-Prieto, G. 2012a. Switchgrass como alternativa energética en el Uruguay. Cangüe 32, 31-39.

Siri Prieto, G. 2012b. Impact of harvest management on energy crops biomass production. Congreso 19° de ISTRO, Montevideo, Setiembre 24-28, 2012.

Vázquez, D., Carrasco-Letelier, L. D' Ottone, F., Resquín, F., Scoz, R. Vilaró, F., Rodríguez, G., Vicente, E., Terra, J. 2012 Evaluating the sustainability of potential agro-industrial chains (sweet sorghum, grain sorghum, sweet potato and forestry) for agroenergy production. ECPA final report.

