

Mercados Energéticos al 25 de mayo de 2009

El Etanol (Última parte)

- **Bioetanol, de otras materias primas**
- **Productividad, emisiones y balances energéticos**

En nuestra entrega de la actualización al reporte semanal de energía, concluimos con la tercera parte sobre el mundo del etanol. Al respecto comentamos sobre cómo las otras alternativas de materia prima, con suficiente contenido de azúcar o almidón, pueden convertirse en bioetanol. Además, en este reporte, los balances energéticos y las emisiones a la atmósfera de las diferentes alternativas en la producción del etanol.

Bioetanol, de otras materias primas

La mandioca (*Manihot esculenta*) es una planta originaria de Brasil y bastante cultivada en regiones tropicales de África y Asia. Además de su amplia utilización como alimento básico en la dieta humana y animal, en Tailandia y China la mandioca es semiindustrializada para exportación (como la tapioca) y utilizada localmente para producir bioetanol para bebidas.

Las características que hacen de este cultivo una alternativa para producir etanol, y que ofrecen ventajas, son: que presenta un elevado contenido de almidón en sus raíces, entre el 20 y el 30 por ciento, es fácil de cultivar, presenta baja exigencia a las condiciones del suelo y el clima, y se puede producir a lo largo de casi todo el año. Esas características motivaron en 1970 algunos intentos concretos para su uso como materia prima para bioetanol en Brasil. Sin embargo, estos proyectos no tuvieron éxito principalmente a causa del elevado precio del etanol resultante, comparado con el bajo costo del bioetanol de caña de azúcar y debido a las discontinuidades en el suministro de las raíces para la industria. En los últimos años, principalmente en países asiáticos, la mandioca ha sido propuesta para producción de bioetanol combustible y se ha empleado en destilerías en Tailandia.

La mandioca tiene procesos e índices de productividad similares a los empleados en el bioetanol de maíz. De hecho, una tonelada de mandioca, con cerca de 25 por ciento

de almidón, permite producir 170 litros de bioetanol. En esas condiciones, considerando la productividad agrícola promedio encontrada en plantaciones bien cuidadas, se obtienen alrededor de 18 toneladas por hectárea, lo que resultaría en una productividad agroindustrial de 3,060 litros de bioetanol por hectárea.

Además de la vinaza, efluente del proceso de destilación, no existen coproductos de valor significativo en ese proceso. La batata, a pesar de tener un mayor costo que la mandioca, también se podría procesar en bioetanol y ha sido evaluada como materia prima potencial, aunque con resultados limitados.

Tabla 1				
Productividad en Diferentes Cultivos para la Producción de Etanol				
Cultivo	Productividad			observaciones
	ton / hectárea	lts etanol / ton	lts/hectárea	
Caña de azúcar	80	85	6800	Demanda energética alta para producir etanol
Maíz	9	440	3960	Arroja biomasa residual: 15 ton/hectárea y diversos coproductos
Mandioca	18	170	3060	No existen coproductos
Trigo	7.5	240	1800	Además se obtienen 320 kg de coproductos
Remolacha	50-100	86	6450	Niveles de productividad dependen de la energía usada
Sorgo Sacarino	50	40	2000	Cultivo poco adaptable a condiciones ambientales

Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, CGEE y FAO.

Para obtener los niveles reales de productividad de un cultivo en la generación de biocombustibles es necesaria la observación directa de la transformación de la materia prima en energético. Los datos arriba descritos corresponden a valores medios observados, tanto en experimentación como en plantas de etanol en Brasil y Estados Unidos. En el esquema destacan los cultivos de caña de azúcar y remolacha azucarera por tener los mayores niveles de productividad (litros de etanol por hectárea cosechada). Mientras que el maíz, el trigo y la mandioca tienen niveles medios de productividad, el trigo conserva el menor nivel con 1,800 litros por hectárea.

El trigo (*Triticum spp.*), otro cultivo que posee almidón, también es utilizado en la producción de bioetanol en algunos países europeos, como Inglaterra y Alemania, mediante un proceso industrial bastante similar al utilizado para el maíz. En ese caso la productividad agrícola y la productividad industrial típicas son, respectivamente, 7.5 toneladas por hectárea y 240 litros de bioetanol por tonelada de granos procesados, resultando en una producción de 1,800 litros por hectárea cultivada. Similar al maíz, se obtienen cerca de 320 kg de coproductos por tonelada de trigo procesada, los cuales son muy valiosos para la alimentación animal.

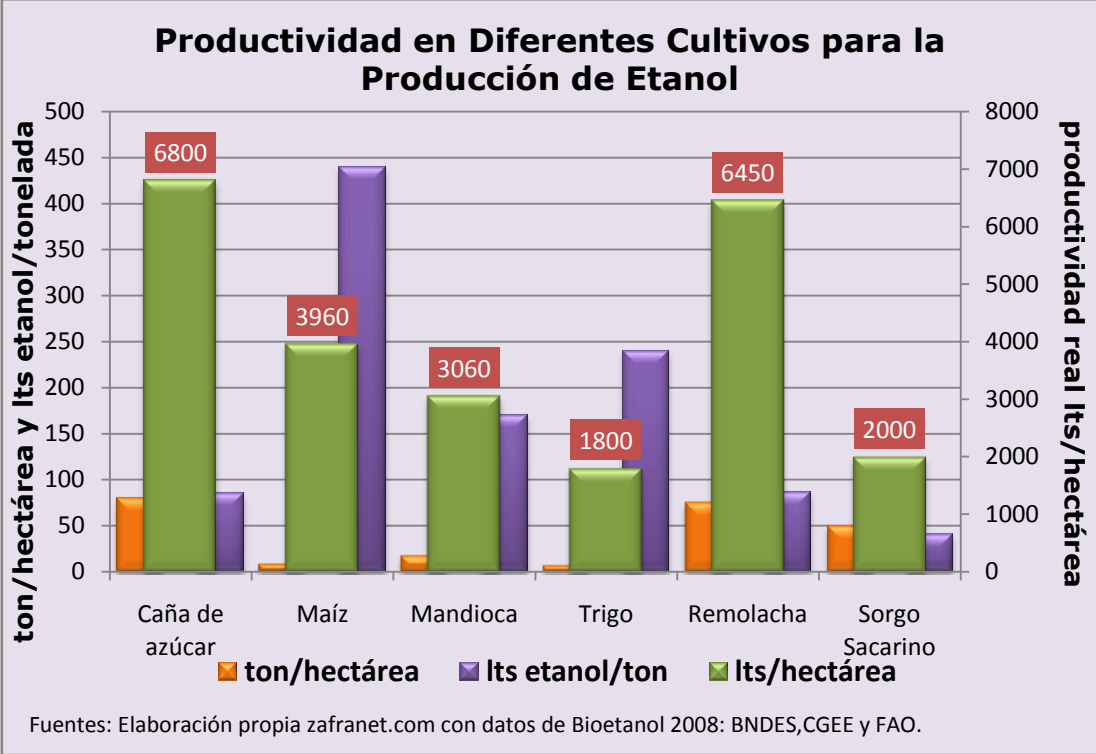
Semejantes al trigo, las plantaciones de **cebada y de centeno** han sido utilizadas, en pequeña escala, para la producción de bioetanol combustible en países de Europa.

La remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), ha sido utilizada para la fabricación de bioetanol, utilizando su miel residual (melaza) siempre disponible en la producción industrial de sacarosa. Esa hortaliza tiene una raíz tuberosa, en la que se acumulan cantidades importantes de azúcar, y presenta una productividad entre 50 y 100 toneladas por hectárea y contenidos de sacarosa del orden del 18 por ciento. Puede alcanzar índices de productividad agroindustrial bastante elevados, del orden de los 7,500 litros de bioetanol por hectárea cultivada, similares a la caña.

El procesamiento industrial de la remolacha comienza con su limpieza y fraccionamiento en trozos finos, que siguen hacia un difusor, en el cual son lavados en agua caliente para liberar su azúcar. El líquido resultante de esa operación contiene aproximadamente el 16 por ciento de sólidos solubles extraídos de la remolacha, y se procesa de igual forma al jugo de caña para producir azúcar o para etanol. Con una tonelada de tubérculos se producen, normalmente, 86 litros de bioetanol y 51 kg de una torta fibrosa que se puede utilizar para la alimentación animal. Se nota que, aunque la remolacha presenta una alta productividad, depende de energía externa (electricidad y combustibles) para su procesamiento.

Sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*). Ese cultivo ha sido frecuentemente propuesto como una potencial fuente de materia prima. En particular, la utilización del sorgo para

la fabricación de bioetanol se podría eventualmente integrar a la agroindustria de caña. Para esto, se extendería el período usual de cosecha con este cultivo relativamente más rústico que la caña y con diversas semejanzas en cuanto al procesamiento. Los tallos de sorgo dulce se pueden procesar en molindas, produciendo un jugo azucarado, con un contenido de sacarosa inferior al jugo de caña, que puede a su vez, someterse a un proceso industrial similar para producir miel y bioetanol.



Gráficamente los niveles de 6,800 y 6,450 litros de etanol producidos con los cultivos de caña de azúcar y remolacha azucarera destacan como los de mayor productividad; sin embargo, en el caso de la remolacha, los niveles de generación del biocombustible están en función del tipo y cantidad de la energía para su producción que en general tienden a modificar los niveles reales de productividad.

Considerando una productividad industrial de 40 litros de bioetanol por tonelada de sorgo procesado y los valores de productividad agrícola de 50 toneladas por hectárea observados en áreas plantadas se obtiene una productividad agroindustrial de 2.000 litros de bioetanol por hectárea. Sin embargo, el empleo del sorgo aún presenta dificultades que deben ser superadas antes de su efectiva adopción, como su reducida resistencia a la degradación tras la cosecha, la limitada base de germoplasma, la poca adaptabilidad ambiental y la baja resistencia a plagas y enfermedades. Como

consecuencia, los experimentos realizados en plantas de São Paulo con sorgo y caña no produjeron resultados motivadores.

Considerando en el mediano plazo el desarrollo de nuevas e innovadoras rutas de conversión de materias primas para la producción de bioetanol, específicamente mediante hidrólisis de materiales celulósicos, crece el interés en las gramíneas de rápido crecimiento y alta productividad, como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), que es utilizado como forraje en Brasil; el *switchgrass* – *pasto varilla* o *pasto aguja* – (*Panicum virgatum*), especie nativa en América del Norte, que podría producir varios cortes anuales; y el pasto alto del género *Miscanthus*, más usado en Europa como fuente de biomasa celulósica. Además, hay interés en las especies silviculturales como el eucalipto y algunas leguminosas arbóreas (en particular, *Leucaena spp.*).

En la selección de un cultivo como fuente de materia prima para la fabricación de bioetanol es indispensable considerar los presupuestos de **eficiencia** en un sentido amplio. La industria tiene que priorizar los cultivos que minimizan los requerimientos de tierra, agua y aportes externos de agroquímicos, entre otros aspectos. Además, se debe tener en cuenta la viabilidad **económica**, ya que no tiene sentido proponer el uso de cultivos sofisticados y de buen valor de mercado como fuente de bioenergía. La materia prima representa entre el 60 -70 por ciento del costo final del bioetanol y la búsqueda de alternativas de bajo costo es fundamental. La existencia de coproductos y subproductos, de valor alimenticio, industrial o energético, es igualmente importante, en la medida en que pueden otorgar una flexibilidad deseable en la producción bioenergética, al asociar la disponibilidad de biocombustibles a otras fuentes de valor económico. Otro punto relevante para la adecuada selección de biomásas con potencial para la producción de bioetanol es el balance energético de cada una de ellas, es decir, la relación entre la energía producida y la demanda de energía directa e indirecta para producir esa energía. Son mucho más convenientes los cultivos de alta productividad y baja demanda de insumos energéticos exógenos.

Productividad, emisiones y balances energéticos

Independientemente de la biomasa utilizada para su producción, el principal objetivo del uso del bioetanol como combustible es la sustitución de derivados de petróleo, lo que permite disminuir la dependencia de esos recursos fósiles y mitigar las emisiones

de gases de efecto invernadero (GEE). Sin embargo, la proporción en la que un biocombustible puede reemplazar a un combustible fósil depende, especialmente, de su modo de producción. Como todas las tecnologías de producción implican (directa o indirectamente) el uso de recursos fósiles, el beneficio asociado al uso de un biocombustible depende de la economía efectiva de energía no renovable que él proporciona, cuando se lo compara con su equivalente fósil. Para el adecuado cómputo de las energías implicadas en el proceso de producción agroindustrial se deben considerar las emisiones de GEE asociadas a su ciclo de vida, resultantes no sólo de la quema de los combustibles fósiles (por ejemplo, por los tractores en las operaciones agrícolas) sino también de aquellas provenientes de otros efectos (por ejemplo, en la producción y uso de fertilizantes).

En la última evaluación publicada se analizaron los balances de energía y emisiones de GEE en la actualidad y se realizó una proyección sobre lo que sucederá en el año 2020, considerando un enfoque "desde el cultivo de la caña hasta el portón de la planta". En relación a los promedios de los principales parámetros agrícolas e industriales de plantas en Brasil, este estudio indica que por cada unidad de energía fósil utilizada en la producción del bioetanol de caña se producen más de nueve unidades de energía renovable, en la forma de bioetanol y excedentes de energía eléctrica y bagazo. (tabla 2).

Tabla 2		
Balance de energía en la producción de etanol de caña de azúcar (MJ/ton caña)		
Componente del balance energético	2005/06	escenario 2020
Producción y transporte de caña	210.2	238
Producción de bioetanol	23.6	24
Input fósil (total)	233.8	262
Bioetanol	1926	2060
Excedente de bagazo	176	0
Excedente de electricidad	82.8	972
Output renovable (total)	2185	3032
Producción/consumo energético		
Bioetanol + bagazo	9	7.9
Bioetanol + bagazo + electricidad	9.3	11.6
Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, FAO.		

Es interesante notar que, considerando la mayor mecanización y la utilización de tecnologías agrícolas que deben ampliar la oferta energética, el incremento de la producción de bioetanol por tonelada de caña procesada y, principalmente, la significativa ampliación de la producción de energía eléctrica, deberán permitir que la agroindustria de caña de azúcar se mantenga como la más eficiente forma de producir biocombustibles.

En relación a las emisiones de gases de efecto invernadero, actualmente la producción del bioetanol anhidro de caña de azúcar implica una emisión de casi 440 kg CO₂eq/m³ de bioetanol, con perspectivas de alguna reducción en los próximos años. Sin embargo, en las condiciones actuales la emisión líquida evitada resultante (diferencia entre las emisiones en producción y las emisiones evitadas) alcanza 1,900 kg CO₂eq/m³ de bioetanol, cuando se considera su utilización en mezclas con gasolina de un 25%, como la adoptada en Brasil, y se asocian los efectos por el uso del bagazo y de la electricidad excedentes. Bajo las condiciones esperadas en 2020 la reducción podría llegar a niveles superiores a 2,260 kg CO₂eq/m³ de bioetanol. (tabla 3).

Tabla 3					
Emisiones en la producción del bioetanol de caña (kg CO₂eq/m³)					
	20005/06		Escenario 2020		
Bioetanol	Hidratado	Anhidro	Hidratado	Anhidro	
Emisión total	417	436	330	345	
Combustibles fósiles	201	21	210	219	
Quemas	80	84	0	0	
Suelo	136	143	120	126	
Emisiones líquidas de la producción del bioetanol de caña (kg CO₂eq/m³)					
	20005/06		Escenario 2020		
Forma de utilización de bioetanol	E100	E25	E100	E100-FFV /*	E25
Emisiones evitadas	2181	2323	2763	2589	2930
Uso de biomasa excedente	143	150	0	0	0
Excedente de electricidad	59	62	784	784	819
Uso del bioetanol	1979	2111	1979	1805	2111
Emisiones netas	-1764	-1886	-2433	-2259	-2585
/* Vehículos flexibles					
Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, FAO.					

A diferencia del caso del bioetanol de caña, existe aún bastante controversia sobre los beneficios ambientales en el uso del producido con maíz para la sustitución de la gasolina. De cualquier manera, no hay dudas de que, en el mejor de los casos, el beneficio es bastante inferior al logrado por el bioetanol de caña. Eso se debe a que, aunque el procesamiento del maíz demanda una cantidad de energía significativamente menor que la caña para convertirse en bioetanol, en el caso del maíz toda la energía proviene de fuentes fósiles externas. El vapor necesario se produce en calderas a gas natural y la electricidad es suministrada por la red pública, que en los EE.UU. depende de los recursos fósiles.

En un trabajo comparativo realizado recientemente se analizaron varios estudios y se llegó a la conclusión de que la relación de energía más representativa para el bioetanol de maíz en las condiciones estadounidenses sería 1:3, considerando los créditos por los coproductos, como el DDGS. En el caso de las emisiones, la producción del bioetanol de maíz implica una emisión total de cerca de 1,700 kg CO₂eq/m³ de bioetanol que sería equivalente a una emisión neta evitada de 130 kg CO₂eq/m³ de bioetanol, cuando se considera su uso final. (tabla4).

Tabla 4	
Balance de energía y emisiones de GEE en el caso del bioetanol de maíz en los EUA.	
Flujos de energía	
Consumo en la fase agrícola	5.59 MJ/litro
Consumo en la fase industrial	15.24 MJ/litro
Consumo total	20.83 MJ/litro
Producción de bioetanol	21.20 MJ/litro
Valor energético de los coproductos	4.13 MJ/litro
Otput total	25.33 MJ/litro
Relación de energía (Producción /consumo)	1.2
Balance de emisiones	
Fase Agrícola	868 kg CO ₂ eq/m ³
Fase Industrial	1353 kg CO ₂ eq/m ³
Coproductos	Menos de 525 kg CO ₂ eq/m ³
Emisión en la producción de bioetanol	1696 kg CO ₂ eq/m ³
Emisiones del bioetanol	81kg CO ₂ eq/m ³
Emisiones de la gasolina	94 kg CO ₂ eq/m ³
Emisiones netas	134 kg CO ₂ eq/m ³
Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, FAO.	

Considerando otras opciones de biomasa para la producción de bioetanol, la situación no es muy distinta; por lo menos en los casos de la remolacha, el trigo y la mandioca, como se presenta en la Tabla 5, donde los valores de la relación de energía y de las emisiones evitadas son muy modestos.

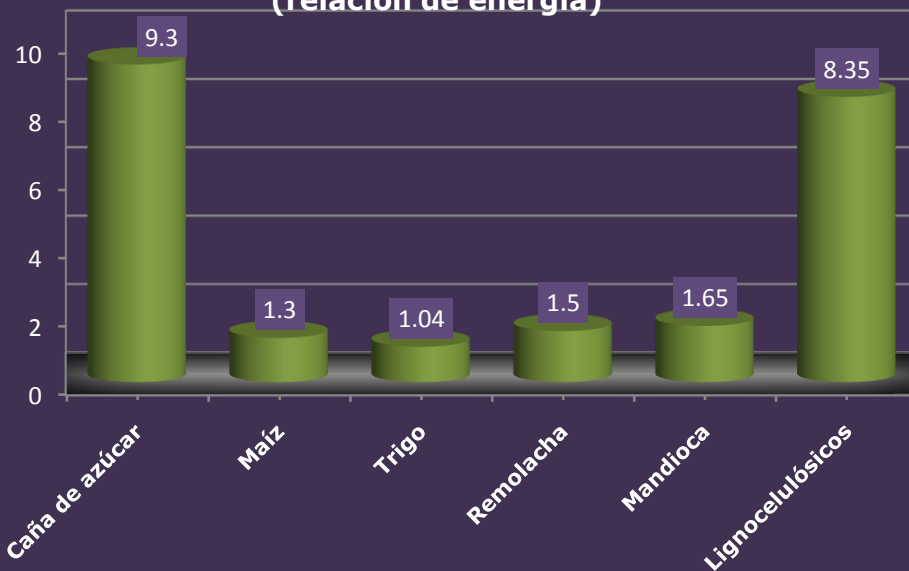
Tabla 5

Comparación de las diferentes materias primas para la producción de etanol.

Materia Prima	Relación de energía	Emisiones evitadas
Caña de azúcar	9.3	89%
Maíz	0.6-2.0	-30% - 38%
Trigo	0.97-1.11	19% - 47%
Remolacha	1.2-1.8	35% - 56%
Mandioca	1.6-1.7	63%
Residuos lignocelulósicos	8.3-8.4	66%-73%

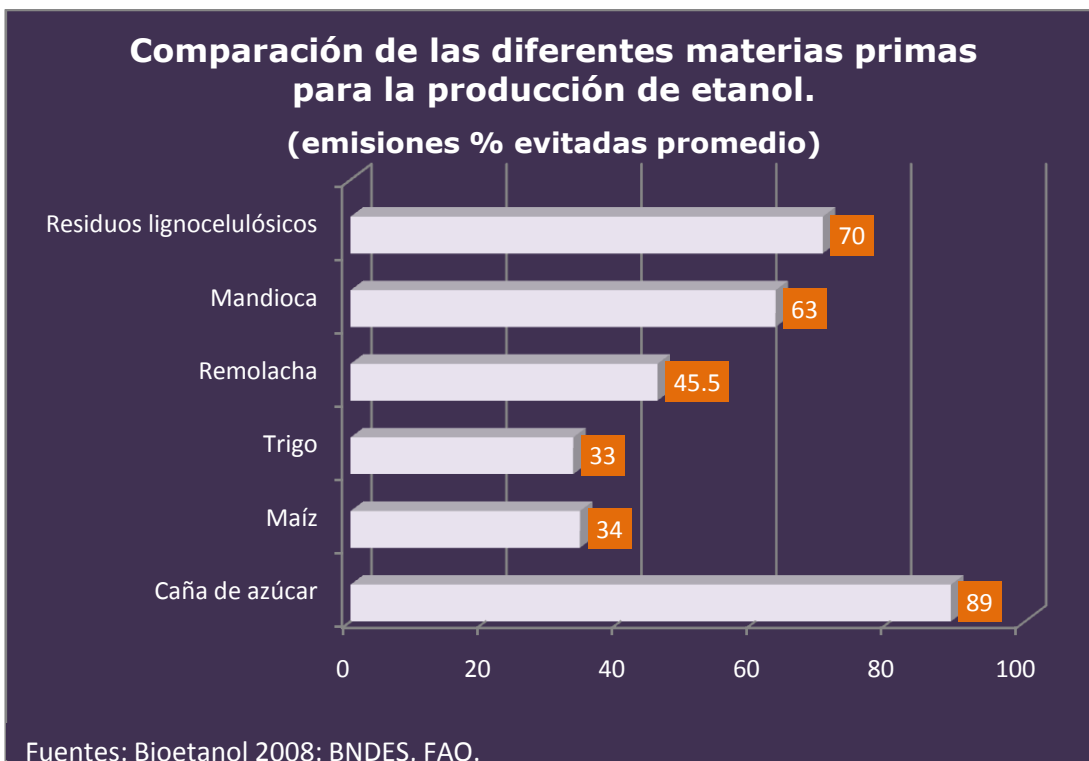
Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, FAO.

Comparación de las diferentes materias primas para la producción de etanol. (relación de energía)



Fuentes: Bioetanol 2008: BNDES, FAO.

Cabe aclarar sobre la importancia de los parámetros: la relación de energía representa la energía renovable producida en la cadena productiva del biocombustible, dividida por la cantidad de energía no renovable requerida para su producción. En el gráfico, la mayor razón de bioenergía es la que resulta de la producción de etanol con caña de azúcar, que aunque el uso de energía no renovable es grande, es la mejor alternativa para producir etanol.



Las emisiones evitadas en esa gráfica corresponden a la disminución del porcentaje de las emisiones, en relación a las emisiones del ciclo de vida de la gasolina, indicando, respectivamente, la consistencia energética y ambiental de cada ruta tecnológica para la producción de bioetanol. El etanol de caña es la materia prima que más emisiones promedio evita con su uso.

Gracias a esos resultados, además de la caña que ya demostró sus ventajas energéticas y ambientales como fuente de bioenergía (particularmente de bioetanol), para el mediano-largo plazo, la esperanza se encuentra en la producción de biocombustibles a base de materiales lignocelulósicos, considerando los criterios ambientales así como el potencial de producción. Sin embargo, no se trata todavía de una tecnología comercialmente utilizada. Para que esa posibilidad sea una opción viable en el futuro se necesita más investigación y demostraciones.

De ese modo, pese a las perspectivas interesantes de algunos cultivos no convencionales para la producción de bioetanol, es necesario contar previamente con estudios agronómicos más profundos para poder recomendar el uso de estas materias primas de forma extensiva.

Conforme avanza el conocimiento acerca de dichos cultivos, la diversificación en la oferta de materia prima para producir bioetanol podrá tener lugar sobre bases consistentes y sustentables, eventualmente en nichos particulares de alto interés, contemplando, por ejemplo, cultivos en suelos salinos y con baja exigencia de agua. De cualquier forma, se debe recordar que la producción de bioetanol no se puede considerar sustituta de la producción agrícola actual, aunque sí puede ser una nueva actividad destinada a utilizar tierras marginales en un proceso de expansión y diversificación de las prácticas agrícolas.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN DE ESTE DOCUMENTO