

T. C. C. RIPOLI (1) ; M. L. C. RIPOLI (2); M. J. DE LEÓN (3)
 Profesor Titular, M.S. Dr., ESALQ- Universidad de São Paulo, Brasil.
 2 Ingeniero Agrónomo, M.S., Dr., John Deere, Brasil.
 3 Ingeniero Agrónomo., M.S., Dr., Consultor.

LA BIOMASA

ENERGÍA RENOVABLE EN BRASIL

Brasil posee una superficie de 854 739 500 hectáreas de las que 500 millones ofrecen condiciones de clima y de suelo que las hacen apropiadas para producir alimentos, fibras y biomasa de energía u operaciones extractivas. En la actualidad, sólo 50 millones de hectáreas se utilizan en la actividad agrícola.

A pesar de poseer el 16% del agua dulce disponible en el mundo, con inmensos ríos, éstos se concentran en la zona amazónica, que es de muy baja densidad demográfica. La población se concentra en el este y en el sur del país, y alcanza los 180 millones de habitantes aproximadamente. En el área del Sudeste, la más industrializada, que incluye los Estados de São Paulo, Río de Janeiro, Minas Gerais y Espírito Santo, se concentra el 43% de la población, y sus ríos ya no permiten la construcción de más plantas hidroeléctricas.

A pesar de que la producción de petróleo en Brasil alcanza el 90% para consumo interno, se importa el 33% del gasóleo consumido, por lo que el país está buscando nuevas alternativas energéticas, principalmente utilizando la biomasa renovable. La



flota de vehículos movida con gasóleo consume 37 000 millones de litros por año.

Por otra parte, la producción brasileña de alcohol hidratado (obtenido de la caña de azúcar) proporciona el 30% del combus-

tible para los automóviles de turismo y comerciales con motores para alcohol o bi-combustibles (para alcohol y/o gasolina, mezcladas o no); estos últimos se introdujeron en el mercado brasileño en el 2003.

La legislación no admite automóviles de turismo con motores de gasóleo. Por otro lado, la gasolina para los vehículos nacionales contiene un 25% de alcohol anhidro (obtenido de la caña de azúcar) en la sustitución del plomo tetraetilo antidetonante, lo que ha permitido una notable reducción de la contaminación atmosférica.

TABLA 1.- FLOTA ESTIMADA DE VEHÍCULOS EN BRASIL EN 2002
 (Fuente: ANFAVEA, adaptado)

Los tipos de unidades de los vehículos	Unidades
Automóviles de paseo	16 576 000
Comerciales ligeros (hasta 1 500 kg de carga)	2 591 000
Camiones medios y pesados	1 270 000
Autobuses	332 000
Tractores	420 000
Cosechadoras de cereales	49 000

Cultivos con potencial energético

Entre los cultivos con potencial para producir energía, se están investigando varias oleaginosas: la soja, el girasol, el cacahuete, el aceite de la palma, el aceite de ricino, etc. El aceite extraído se mezclaría, a nivel del 2%, con el gasóleo, que es el combustible que utilizan los camiones y los autobuses dedicados al transporte de pasajeros, lo que permitiría aumentar las reservas de gasóleo del país y reducir la importación y la contaminación atmosférica. Con esto se estima que se ahorrarían del orden de 425 millones de dólares por año.

En Brasil, el principal cultivo energético es la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), puesto que, además del alcohol combustible, ofrece el bagazo (resultado de la compresión de los tallos en los ingenios azucareros y en las destilerías) y los residuos agrícola cañeros –RAC– (puntas, hojas verdes, paja, fragmentos de tallos no recogidos, malas hierbas y tierra a ellos adherida) que, siendo el resultado de los sistemas de la cosecha, manual o mecánica, se encuentran en las áreas donde se cultiva la caña de azúcar.

Este cultivo ocupa una superficie agrícola del orden de 5.2 millones de hectáreas, con el 60% de la misma concentrada en el Estado de São Paulo. La productividad media brasileña es de 4 cortes (cosechas) de 70 t/ha, y en el Estado de São Paulo se llega a 81 t/ha.

El bagazo, por su parte, se produce a razón de 250 kg por tonelada de caña cortada. La cosecha en la campaña 2003/04 fue, por tanto, de 89 828 889 t, con una humedad del 50%. Esta biomasa se utiliza en los propios ingenios azucareros y destilerías del país. La energía excedentaria producida, es, aproximadamente, del 40% en cada zafra, y se

TABLA 2.- PRODUCCIÓN BRASILEÑA DE CAÑA DE AZÚCAR Y DE SUS PRINCIPALES DERIVADOS EN LA ZAFRA 2003/04
(Fuente: www.portalunica.com.br)

Productos	Producción
Caña de azúcar (toneladas cosechadas)	359 315 559
Azúcar (t)	20 425 793
Alcohol anhidro (m³)	8 912 050
Alcohol hidratado (m³)	5 896 655
Total de alcohol (m³)	14 808 705

utiliza para generar energía eléctrica.

El país dispone de 328 plantas de producción de azúcar/destilerías en la actualidad, estando situadas 150 de ellas en el Estado de São Paulo, 81 en las zonas del Norte y del Nordeste y 97 en las demás zonas del país.

En los próximos cuatro años entrarán en funcionamiento 44 nuevas unidades, principalmente en São Paulo y en los Estados del Centro-Oeste, nueva frontera agrícola para la soja y la caña de azúcar.

En 10 plantas y destilerías del Estado de São Paulo y de Minas Gerais, el sobrante del bagazo se está quemando para co-generar energía eléctrica que se vende a los distribuidores privados para complementar el abastecimiento de las ciudades situadas en las áreas donde las plantas se localizan.

El gobierno brasileño tiene un programa de incentivo para la generación de energía que, utilizando fuentes alternativas renovables, establece los precios

que deben de pagar los distribuidores privados a los productores (Tabla 3).

Se puede observar, en la tabla 3, que el precio fijado para la energía eléctrica de origen eólico es mucho más elevado que los otros. Eso es debido al hecho de que los aerogeneradores están importándose de Europa, mientras las otras fuentes utilizan materiales de origen brasileño. Por otra parte, los precios varían, entre las dos grandes áreas, en la función de la proximidad de las materias primas disponibles y predominantes en cada una de ellas.

Los residuos agrícolas de la caña (RAC)



TABLA 3.- PRECIOS PAGADOS A LOS PRODUCTORES DE ENERGÍA GENERADA MEDIANTE FUENTES ALTERNATIVAS

Norte y Nordeste del país	US\$/MWh
Biogás	63.96
Paja de arroz	41.60
Madera	44.63
Caña de azúcar (bagazo y RAC)	46.00
Eólica	85.31
OTRAS REGIONES	
Biogás	65.43
Paja de arroz	43.33
Madera	46.86
Caña de azúcar (bagazo y RAC)	34.46
Eólica	89.11

TABLA 4.- PODER CALORÍFICO MEDIO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES DE ORIGEN FÓSIL Y DE LA BIOMASA, EN BRASIL

(FUENTE: RÍPOLI, MLC. TESIS DE MAESTRÍA. USP, 2003)

Combustibles	Unidades	
	kcal/L	kcal/kg
Gasolina	11 000	8 150
Gasóleo	8 800	
Carbón vegetal		6 800
Alcohol anhidro	5 080	
Madera		2 500
RAC con 15% de humedad		1 900
Bagazo de caña con 50% de humedad		1 800

Dependiendo de la variedad de caña y del sistema de cosecha (manual o mecánico, con quema o sin ella) y de las condiciones climáticas, el RAC varía de 4 a 10 t de materia seca por hectárea. El RAC recogido se procesa, por término medio, dos semanas después de la cosecha de los tallos, cuando se encuentra con una humedad media del 15%.



Bajo estas condiciones, por consiguiente, una hectárea de RAC ofrece un poder calorífico equivalente a 2 330 litros de gasolina, lo que es un valor bastante significativo que justifica su aprovechamiento.

Otra ventaja del uso del bagazo y del RAC para producir electricidad, se deriva de la circunstancia de que todas las plantas brasileñas ya poseen sistemas de calderas y generadores de electricidad (razón principal por la que es menor el coste del kWh consumido) no necesitando nuevas inversiones para integrarse en la matriz energética del país.

Además, menores serán las pérdidas de energía en el transporte, porque el suministro se realizará en las ciudades más próximas al ingenio/refinería,



siendo innecesarias las inversiones en nuevas y costosas líneas de la transporte.

Otra gran ventaja del uso de RAC es la aplicación del concepto de MDL (reducción de emisiones de CO₂) en el desarrollo limpio, y la posibilidad para comercializar internacionalmente el crédito de carbono como un commodity medioambiental, según los principios de preservación medioambiental de la Agenda 21 y del Protocolo de Kioto.

El Estado de São Paulo ya tiene una Ley Estatal que limita la quema de la caña como práctica de pre-cosecha en función de la proximidad a las ciudades, a los ríos, a las áreas de preservación medioambiental y a las líneas de transmisión de energía eléctrica. La ley prevé que en 20 años se elimine totalmente esta

práctica en todas las plantaciones cañeras del Estado de São Paulo.

En la zafra de 2003-04 se recogieron, aproximadamente, el 30% de las plantaciones de la caña de azúcar sin quema previa utilizando cosechadoras combinadas. Estas máquinas pesan alrededor de 11 toneladas y tienen un precio de adquisición de unos 280 000 US\$; su capacidad de recolección es de 500 a 600 toneladas en 24 horas (trabajan día y noche). Se definen como combinadas porque cortan, pican, limpian parcialmente y depositan el material en remolques o en camiones apropiados.

Las áreas en que la cosecha se realiza sin quema previa aparecen numerosas ventajas agronómicas, porque el RAC, de un año para el otro, entra en descomposición, mejorando la relación carbono/nitrógeno, la actividad microbiana y el contenido de materia orgánica del suelo, lo que es muy necesario en el cultivo de la caña de azúcar. Hay todavía otro aspecto interesante: disminuye significativamente la cantidad de herbicidas necesarios en las plantaciones de la caña de azúcar, porque la 'cama' de RAC inhibe el desarrollo de muchas especies de hierbas malas.

Por otro lado, las investigaciones han demostrado que extrayendo aproximadamente el 50% de RAC las ventajas agronómicas continúan siendo apreciables. Esto anima a retirar parte de esta biomasa para mezclarla con el bagazo que se quema en los ingenios para producir energía eléctrica.



Procedimientos para la recogida del RAC



La gran discusión del momento en los medios académicos y comerciales del azúcar y del alcohol en Brasil es sobre el sistema recomendable para la retirada de RAC del campo y su puesta en la planta de procesamiento de la manera más ventajosa posible, tanto en los aspectos técnicos como en los económicos.

La Escuela Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', de la Universidad de São Paulo, lleva 10 años investigando sobre va-



rios procesos. Una conclusión inicial es que no existe un proceso 'mejor'. Cada planta deberá, con su experimentación, definir el mejor en la función de su situación agrícola específica, considerando aspectos como, la variedad (el porcentaje de RAC de cada una), la distancias de los campos al ingenio (que puede llegar a radios de 50 km), la forma de realizar la recolección (manual o mecánica), la producción diaria de caña, y el régimen



pluviométrico de la región, entre otros.

Los autores de este artículo han realizado el estudio comparativo, en términos operacionales y económicos, bajo las mismas condiciones de campo, entre los diferentes procesos de recogida: a granel, mediante empaçado, y utilizando una cosechadora de caña combinada con sus sistemas de limpieza desconectados.



Con esta última opción, la cosecha del caña se procesó integralmente, o sea, recogiendo toda la materia prima (partes altas del tallo + materia vegetal extraño + tierra) que se transportaba hasta el ingenio azucarero. Si, por una parte, disminuye la densidad de la carga, incrementando el coste del transporte debido a presencia de material vegetal ex-



traño, por otra, se eliminaron las operaciones de hilerado, empaçado, carga, transporte y descarga del RAC. Los resultados resumidos de las pruebas parecen reflejados en el Gráfico 1.

Finalmente merece la pena decir que Brasil, por su inmensa extensión territorial y por sus condiciones edafo-climáticas favorables para la agricultura, se está situando no sólo como uno de los primeros 'graneros del mundo', sino también como uno



de los mayores productores de energía a partir de la biomasa. ■

GRÁFICO 1.- CANTIDAD DE TIERRA CONTENIDA EN EL RAC Y COSTE COLOCADO EN PLANTA

