



■ Caña de Azúcar

Manejo de los residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar: disponibilidad potencial y alternativas de enfardado

Casen, Sergio; Romero, Eduardo; Leggio, Fernanda; Torres Bugeau, Adolfo; Perez, Daniela; Paredes, Virginia y Feijoo, Enrique.

Proyecto Cultivos Energéticos. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, W. Cross 3150. Las Talitas, Tucumán. scasen@eeaoc.org.ar

■ Introducción

En la provincia de Tucumán perdura aún una cultura de la quema de los cañaverales, generando múltiples problemas de tipo agronómico, ambiental y socioeconómico. La creciente concientización ambiental de los factores involucrados en la actividad cañera, así como el interés en el uso de los residuos agrícolas de la cosecha con finalidades energéticas, pretenden instalar un sistema

productivo sin el uso de la quema.

La incorporación de tecnologías para el manejo y utilización de los residuos agrícolas de cosecha (RAC) para la cogeneración (calderas bagaceras) o generación de energía eléctrica (calderas especiales de biomasa) resulta fundamental para eliminar este problema que compromete cada vez más a la industria azucarera.

Por tal motivo, conocer la cantidad

de residuo disponibles luego de la cosecha en verde de la caña de azúcar, y saber acerca de la maquinaria más apropiada para su recolección y enfardado, son aspectos determinantes en la evaluación de estrategias para el aprovechamiento y la viabilidad del uso de RAC a nivel comercial.

En términos energéticos, de acuerdo a la producción potencial de electricidad en los ingenios de la provincia, se estima que por cada

tonelada de RAC se produciría 0,4 megavatios; esto equivale a que cuatro toneladas de RAC representarían aproximadamente una tonelada de petróleo.

Desde 2005, el Subprograma Agronomía de la Caña de Azúcar y la Sección Ingeniería y Proyectos de la EEAOC vienen estudiando el manejo y uso energético de estos residuos, abarcando aspectos agronómicos e industriales.

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis de disponibilidad potencial de RAC en nuestra provincia luego de la cosecha en verde de la caña de azúcar, y dar a conocer las tecnologías actualmente disponibles en el mercado comercial para el enfardado del mismo.

■ Estimación del volumen de RAC en Tucumán

El área cañera de Tucumán presenta tres zonas agroecológicas bien definidas: Llanura Chaco-Pampeana, Llanura Deprimida y Pedemonte, cuyas características de suelo y clima van a condicionar el aprovechamiento agronómico del RAC, y también el porcentaje máximo de recolección del mismo.

En la llanura Chaco-Pampeana, por la escasez de precipitaciones, y

en el Pedemonte, por los excesos hídricos, es agrónomicamente conveniente mantener al menos entre el 60-70% de los residuos sobre el suelo para aprovechar todos los beneficios de la cobertura (control de erosión hídrica, aumento de la infiltración y almacenamiento de agua, eficiencia del riego, control de malezas y de algunas plagas, mejora de la fertilidad del suelo, entre otros). En la Llanura Deprimida, la presencia de capas freáticas estacionales cercanas a la superficie del suelo, provocan suelos fríos y excesos de agua que resultan determinantes en la brotación del cañaveral, por lo que es conveniente y necesario recolectar porcentajes superiores al 70% del RAC.

Considerando la disponibilidad de estos residuos en cada una de las regiones agroecológicas y la información de rendimientos medios de producción de caña generada por la Sección Sensores Remotos de la EEAOC (Fandos *et al.*, 2014), se procedió a estimar la cantidad del RAC seco factible de ser recolectado para la zafra 2014 (Tabla 1), utilizando como base el coeficiente de biomasa residual promedio entre variedades de 151 kg RAC/ t caña, determinado por Romero *et al.* (2008). El RAC seco hace referencia a la cantidad de residuo expresada en peso de materia seca por unidad de superficie.

Si el valor de RAC factible de recolectar se corrige por el 15% de humedad, tal como es recogido en el campo, el RAC recolectable en la provincia de Tucumán sería de casi 1,2 millones de toneladas.

■ Evaluación de máquinas enfardadoras para la recolección de RAC

Las experiencias con las enfardadoras se realizaron en fincas de productores e ingenios azucareros de nuestra provincia. En todos los casos se trabajó con la variedad LCP 85-384, que ocupa el 83,05% del área cañera de Tucumán (Ostengo *et al.*, 2014).

La megaenfardadora o enfardadora prismática Challenger LB33B (Figura 1) tiene la particularidad de confeccionar fardos prismáticos.



Figura 1. Megaenfardadora Challenger LB33B.



Mauricio Mossé
INSTRUMENTAL CIENTÍFICO

Representante de
Equipos Ópticos NIKON

Espectrofotómetros • Balanzas Analíticas
Cabinas de Bioseguridad • Estufas de Cultivo

Laprida 454 . (4000) S. M. de Tucumán . Tucumán . Tel. (0381) 4214807 - 4226436
mauriciomosse@arnetbiz.com.ar www.mauriciomosse.com.ar

Tabla 1. Estimación de biomasa residual disponible y porcentaje de recolección de los residuos de la cosecha recomendado para las diferentes zonas agroecológicas del área cañera tucumana. Zafra 2014. Tucumán-Argentina.

Región Agroecológica	Superficie cosechada (ha)	Superficie (%)	Rto promedio t/ha	RAC Seco Total (t)	% recolección	RAC seco factible de recolectar (t)
Pedemonte	61.008	23	56,7	3.459.125	30	155.660
Llanura Deprimida	167.108	63	56,7	9.474.995	70	994.874
Llanura Chaco Pampeana	37.135	14	56,7	2.105.554	30	94.749
Total	265.250			2.255.951		1.245.283

Se caracteriza fundamentalmente por presentar un cabezal recolector pickup de 2,6 m seguido por cuchillas troceadoras (cutter), cuya función es conseguir una granulometría de RAC más adecuada y facilitar la compresión del mismo (aumento de la densidad). La cámara de compresión está compuesta por un pistón de acero que produce 47 golpes por minuto, conformando de esta manera fardos uniformes y de alta densidad. Una

vez completada la longitud del fardo en la cámara, se activa el sistema de atado compuesto por cuatro cuerdas con doble nudo.

Operativamente, esta máquina posee el ancho adecuado para evitar el pisoteo en las cepas de los surcos (diseño de plantación de base ancha) (Figura 2); además, opera con neumáticos de alta flotación y dos ruedas pivotantes de copiado que facilitan el trabajo en terrenos no uniformes (menor compactación).

Otra alternativa son las rotoenfardadoras (Figura 3). En este caso el modelo evaluado fue Mainero 5870, constituido por un cabezal recolector flotante de 1,2 m, cámara de prensado de dos cilindros hidráulicos y seis correas de nylon y poliéster. Estas máquinas también cuentan con ruedas pivotantes de copiado que permiten trabajar con más eficiencia. En la medida que ingresa el RAC a la

cámara y se conforma el núcleo, se activa el sistema hidráulico de atado según las vueltas programadas por el operador.

En la Tabla 2 se especifican otras características técnicas diferenciales de los dos modelos de enfardadoras evaluadas.

En base a las evaluaciones realizadas y a las características descritas, las megaenfardadoras resultarían la opción más conveniente para el diseño de plantación de base ancha (1,6 m) generalizado en nuestra provincia. Además, se destacan por su alta productividad de fardos por unidad de tiempo, por la tecnología de punta en la cámara de compactación y la alta resistencia a roturas en todos sus componentes. Otra particularidad es que la conformación de fardos prismáticos hace más eficiente el transporte y el cargado de aquellos.



Figura 2. Ancho de enfardadora adecuado para el diseño de plantación de base ancha.



Figura 3. Enfardadora o enrolladora Mainero 5870

Tabla 2. Características diferenciales de las dos enfardadoras evaluadas en la recolección de RAC de caña de azúcar.

Características técnicas	Mainero 5870	Challenger LB 33 Cutter
Tipo de fardo	Rollo	Prisma
Dimensión del fardo (m)	1,2 x 1,5	2,20 x 0,90 x 0,80
Peso del fardo (kg)	200 a 300	300 a 400
Potencia mínima requerida(HP)	70	170
Cámara de prensado	6 correas	Pistones
Dimensiones generales (ancho x largo)	2,440 X 3,910	2,540 X 6,836
Peso total (kg)	2.440	6.836



LA SOLUCIÓN COMPLETA PARA EL CULTIVO DE CAÑA
Lo acompañamos en todas las etapas de su producción.

ZAFRA s.a.

 **JOHN DEERE**



Cosechadoras



Agricultura de precisión



Baterías



Repuestos y Servicios



Fuel Protect



Lubricantes

Lavalle 3005 - C.P. (4000) - San Miguel de Tucumán - Tel.: 0381-4330086
zafra@zafrasa.com.ar www.zafrasa.com.ar

La Tabla 3 muestra las características operativas de ambas enfardadoras (nº de fardos/ha, eficiencia de recolección, RAC remanente y consumo de combustible).

La eficiencia de recolección de cada modelo de enfardadora depende fundamentalmente de las toneladas de RAC por hectárea, de la regulación del cabezal de recolección y del hilerado que se realizó previamente.

Es importante destacar que la diferencia de consumo de combustible entre los distintos frentes de enfardado se debe exclusivamente a la potencia del tractor utilizado para la tracción de las máquinas y para el accionar de las cuchillas de corte (cutter) en las megaenfardadoras.

■ Etapas del enfardado del RAC

Después de realizar la cosecha en verde de caña de azúcar, la recolección del RAC se realiza en cuatro etapas bien definidas desde el campo a la industria. La primera labor es el hilerado o acordonado del RAC (Figura 4) mediante la utilización de un rastrillo modificado de cuatroestrellas. Su objetivo es depositar el RAC de dos trochas sobre el surco por donde operan las enfardadoras, siendo esta tarea de gran importancia por definir la cantidad de tierra en los fardos.

Durante la etapa dos, de enfardado del RAC (Figura 5), es conveniente conseguir una buena calidad de fardos (alta densidad y con un nivel de humedad entre el 15% y 20%), que permitirá lograr la máxima eficiencia de combustión durante su utilización y evitar daños por “ardido” en su almacenamiento.

La tercera etapa comprende la carga de fardos en los camiones con acoplado (transporte convencional), tarea que se realiza actualmente con autoelevadores hidráulicos convencionales (Figura

Tabla 3. Características operativas de Mainero 5870 y Challenger LB 33 B.

Enfardadora	Nº de fardos/ha	% RAC recolectado	% RAC remanente	Consumo de combustible l/ha
Mainero 5870	20	57	43	9
Challenger LB 33 B	22	65	35	17



Figura 4: Hilerado o acordonado del RAC.



Figura 5: Recolección del RAC con megaenfardadora.



Figura 6: Cargado de fardos prismáticos.

6). Es importante operar con mucha precaución en esta etapa para evitar el daño en cepas.

El transporte de los fardos a la industria (etapa cuatro) es la tarea de mayor impacto en los costos; por ese motivo resulta fundamental optimizar la carga de los equipos de transporte a través del tipo de fardo que se realiza. En tal sentido, al operar con fardos prismáticos, los camiones convencionales pueden cargar entre 48 y 54 fardos (peso promedio por fardo de 350 kg) (Figura 7). En el caso de rollos (Figura 8), para el mismo tipo de transporte se pueden cargar solo 36 rollos.

■ Análisis económico de la recolección de RAC

Para determinar la inversión y los costos del armado de cada uno de los tipos de fardos, se consideraron las tareas agronómicas necesarias durante el enfardado de RAC. Básicamente, la diferencia entre éstos radica en la máquina enfardadora utilizada, la potencia y cantidad de tractores empleados. Se considera para este análisis 7,7 toneladas de RAC recolectable (60% de eficiencia de recolección), con los tiempos operativos reales y los consumos de gasoil determinados en función de los HP de la maquinaria y el coeficiente de gasto 0,16 l/HP/h).

El primer frente de trabajo estuvo constituido por la rotoenfardadora Mainero 5870, dos tractores de 80 HP y una hileradora. Tuvo un rendimiento operativo de 20 rollos por hectárea. El peso promedio de los rollos fue de 250 kg cada uno.

El segundo frente, conformado por la enfardadora prismática Challenger LB 33 B CUTTER, dos tractores, uno de 80 HP y otro

de 170 HP y una hileradora. El rendimiento operativo para esta máquina fue de 22 fardos por hectárea. Los fardos pesaron en promedio 350 kg cada uno.

En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis económico hecho para las dos enfardadoras evaluadas, contemplando en ambos casos un flete del campo a la industria de 30 kilómetros.



Figura 7: Cargado de fardos prismáticos.



Figura 8: Cargado de rollos de RAC.



Bulacio Argenti S.A.

Ruta 302 - Km 8

Código Postal: 4178 - Cevil Pozo

Tucumán - Argentina

Tel. (0381) 4268380 / 4268383

www.bulacioargenti.com

Tabla 4. Comparación de costos de armado de fardos y precios estimativos, dependiendo del frente de recolección.

Características técnicas	Mainero 5870	Challenger LB 33 Cutter
Rendimiento (n° de fardos/ha)	20	22
Peso del fardo (kg)	250	350
Cantidad de fardos/ flete	36	54
Distancia al ingenio (km)	30	30
Tarea de enfardo (\$) *	46,89	48,62
Cargado (autoelevador) \$/fardo	10	10
Flete (\$/fardo)	13,3	26,7
Costo Total/Fardo (\$)	70,19	85,32
Costo Total/t RAC transportado (\$)	190,00	172,57

(*) Se considera hilado y enfardado. Corresponde a datos del año de 2014.

Si bien un frente de enfardadora prismática implica una mayor inversión, la productividad de estas máquinas es superior a las rotoenfardadoras.

Al analizar el conjunto de los componentes que definen la confección de los fardos en ambas máquinas, se observa que el costo por kg de RAC para un frente de enfardadora prismático es ligeramente menor debido a la disminución del costo del transporte (10 toneladas más de RAC).

Consideraciones finales

En base a la zafra 2014, el área cañera tucumana habría dispuesto de

1.494.342 toneladas de RAC recolectable, siendo de gran interés esta materia prima para mezclar con bagazo y producir energía en las industrias azucareras de Tucumán (cogeneración de electricidad en calderas). Además, con la utilización energética-económica de este residuo de cosecha se contribuiría de manera significativa a minimizar los problemas ambientales y socioeconómicos ocasionados por la quema de cañaverales y rastrojos, con la consecuente mejora sustancial de la calidad de vida de la población.

En base a las experiencias realizadas, se recomiendan para

lotes comerciales de caña las enfardadoras prismáticas, ya que mostraron mejores tiempos operativos y volumen recolectado por superficie (cabezal recolector con cutter y considerable ancho de labor que experimenta menos pérdida de RAC). A su vez, la obtención de fardos compactos, de mayor tamaño y calidad, facilitan la disposición y la cantidad de estos en el camión, lo que influye directamente en la reducción de los costos.

Las rotoenfardadoras tienen la desventaja de presentar numerosas limitaciones operativas (baja producción en el número de fardos/h) y baja eficiencia de transporte, que determinan su utilización para superficies menores a 50 hectáreas.

Seguramente estas tecnologías serán mejoradas en un futuro cercano e incorporadas, mejorando las perspectivas de esta importante actividad económica asociada a la caña de azúcar.

Bibliografía citada

Fandos C.; J. Scandaliaris; P. Scandaliaris; F. Soria y J. Carreras Baldrés. 2014. Área cosechable y producción de caña de azúcar para la zafra 2014 en Tucumán. Reporte Agroindustrial. EEAOC. Boletín (94).

Ostengo S.; M. Espinosa; J. Díaz; E. Chavanne y D. Costilla. 2014. Distribución variedades comerciales de caña de azúcar en la provincia de Tucumán, R. Argentina. Relevamiento de la campaña 2013/2014. Diciembre 2014. Avance Agroindustrial. 35 (4):10-14.

Romero, E. R; J. Scandaliaris; P. Digonzelli; L. Alonso; F. Leggio Neme; J. Giardina; S. Casen; J. Tonatto y J. Fernández de Ullivarri. 2008. Effect of yielding and variety on sugarcane potential trash. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán (RIAT) 85 (1). ISSN 0370-5404.

