

Recibido 14 de marzo de 2018 // Aceptado 28 de agosto de 2018 // Publicado online 10 de abril de 2019

Revisión crítica de la evolución tecnológica de la cosecha de la caña de azúcar en la Argentina

VALEIRO, A.¹; BIAGGI, C.²

RESUMEN

La agroindustria argentina del azúcar se concentra en la región noroeste. Tucumán es la principal productora, con 70% de la superficie nacional implantada. Resulta casi imposible pensar en el desarrollo económico y social de Tucumán separado de la caña de azúcar y su industrialización. Ahora, con los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo, la investigación tecnológica y el trabajo con los actores del sector tienen como objetivo que la producción de la caña de azúcar no solo resulte rentable, sino que además muestre una gestión ambiental coherente con el aumento de superficie de estos últimos 20 años. La sustentabilidad del cultivo de caña de azúcar se relaciona especialmente con el modo de realizar la cosecha, que es la etapa de mayor importancia en su producción. El tipo de cosecha de caña de azúcar influye una cantidad de aspectos que hacen al desempeño productivo del cultivo, a su resultado económico, a la generación de empleo sectorial y regional, a la evolución de la tecnología industrial y al impacto ambiental de la producción. Además, en cualquiera de sus tipos, la cosecha se destaca por su impacto dentro del costo productivo total, representando entre 25% al 35%, y por lo tanto, cualquier variación que se registre en esa etapa repercute fuertemente en la rentabilidad final del cultivo. En esta revisión bibliográfica se presenta la evolución de las diferentes prácticas de cosecha en la Argentina resaltando la importancia que estas tienen sobre la productividad y longevidad de los cañaverales y las consecuencias sobre los recursos naturales, en especial el suelo. Se realiza una crítica sobre el uso de las cosechadoras integrales, con énfasis sobre las ventajas, limitaciones y desafíos técnicos de este paradigma tecnológico. La mecanización integral de la cosecha –se concluye– dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina, más bien representa un cambio que lleva implícito un nuevo ordenamiento de la actividad; caracterizado por la notable reducción del tiempo necesario para la zafra. Los problemas todavía pendientes de solucionar –la falta de adaptación a plantaciones de poco tamaño, las pérdidas de cosecha a campo y en la interface campo-industria, el potencial de compactación de los suelos/decaimiento de los cultivos y la quema del rastrojo remanente– indican que el sistema mecanizado integral está lejos de ser el fin del camino de desarrollo de la cosecha de caña de azúcar y que todavía resulta necesaria una mayor oferta tecnológica para esta etapa productiva clave.

Palabras clave: caña de azúcar, cosecha, cosechadora integral, sustentabilidad.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Labintex Europa 1000 Avenue Agropolis (34394), Montpellier, Francia. Correo electrónico: valeiro.alejandro@inta.gov.ar

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Famaillá, Ruta Provincial 301 km 32 (T4132) Tucumán, Argentina. Correo electrónico: biaggi.maria@inta.gov.ar

ABSTRACT

The Argentinian sugar agroindustry is concentrated in the northwest region. Tucumán is the main producer, with 70% of the national planted area. It is almost impossible to think of the economic and social development of Tucumán separated from sugarcane and its industrialization. Now, with the new energy paradigms defying the crop, technological research and work with the actors of this sector aim to make the production of sugarcane not only profitable, but to also show an environmental management consistent with the increase of surface within the last 20 years. The sustainability of sugar cane cultivation is especially related to the way of harvesting, which is the stage of greatest importance in its production. The type of sugar cane harvest influences a number of aspects that make the productive performance of the crop, its economic result, the generation of sectoral and regional employment, the evolution of industrial technology and the environmental impact of production. In addition, in any of its types, the harvest stands out for its impact within the total productive cost, representing between 25% and 35%, and therefore, any variation recorded at that stage has a strong impact on the final profitability of the crop. In this bibliographic review, the evolution of the different harvesting practices in Argentina is presented, highlighting the importance they have on the productivity and longevity of the cane fields and the consequences on natural resources, especially the soil. A critique is made about the use of integral harvesters, with emphasis on the advantages, limitations and technical challenges of this technological paradigm. The integral mechanization of sugarcane harvest, it is concluded, is far from being simply the replacement of human labor by a machine. Rather it represents a change implied by a new order of the activity; characterized by the remarkable reduction of the time necessary for the harvest. The problems still needed to be solved - the lack of adaptation to small-sized plantations; crop losses in the field and in the field-industry interface; the potential for soil compaction / crop decay and the burning of remaining stubble - indicate that the integral mechanized system is far from being the end of the sugarcane harvest development path and that greater technological supply is still needed for this key productive stage.

Keywords: sugarcane, harvest, chopper harvester, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria argentina del azúcar se concentra en el noroeste argentino (NOA), en las provincias de Tucumán, Salta y Jujuy, aunque existe además un menor desarrollo azucarero en el Litoral. Tucumán es la principal productora, con más del 70% de la superficie implantada en el país (Benedetti, 2018).

La actividad azucarera constituye uno de los principales pilares de la economía de la provincia desde la segunda mitad del siglo XIX. Aunque se han sumado importantes actividades agrícolas en los últimos años, es casi imposible pensar en el desarrollo económico y social de Tucumán separado de la caña de azúcar y su industrialización. Ahora con los nuevos paradigmas energéticos que desafían al cultivo, la investigación tecnológica y el trabajo con los actores del sector tienen como objetivo que la producción de la caña de azúcar no solo resulte rentable, sino que además muestre una gestión ambiental coherente con el aumento de superficie de estos últimos 20 años.

La sustentabilidad del cultivo de caña de azúcar —en todos sus aspectos— se relaciona especialmente con el modo de realizar la cosecha, que es la etapa de mayor importancia en su producción. Su objetivo es recolectar la materia prima disponible en el campo con una alta eficiencia

y mínimas pérdidas, garantizando un suministro oportuno y en cantidad suficiente a la fábrica, con el menor tiempo posible entre cosecha y molienda, con bajos niveles de materias extrañas (especialmente de hojas, despunte y tierra) y con los menores costos, todo esto con el propósito de obtener azúcar de alta calidad a precios competitivos.

En cualquiera de sus tipos, la cosecha se destaca por su impacto dentro del costo productivo total, representando entre 25% al 35% (Santochi *et al.*, 2015). Por lo tanto, cualquier variación que se registre en esa etapa repercute fuertemente en la rentabilidad final del cultivo. A su vez, el tipo de cosecha que se utilice condiciona la logística y los costos de transporte de la materia prima hasta el ingenio, otro componente esencial que define la rentabilidad global de la cadena. En Tucumán se cosechan anualmente más de 12 millones de toneladas de caña, un volumen enorme que debe ser transportado de una u otra manera desde el campo hasta las fábricas.

Las referencias bibliográficas (Fogliatta, 1995; Romero *et al.*, 2009; Vicini y Vicini, 2010; Acreche y Valeiro, 2011; Felipe, 2013) coinciden en clasificar los distintos tipos de cosecha de caña de azúcar en tres categorías: manual, semimecanizada y mecanizada. En todos los casos se busca que sean bajos los niveles de materias extrañas que van

con las cañas (especialmente hojas, despunte y tierra), porque la cantidad de impurezas (trash) al momento de ingresar al ingenio tiene una penalidad en el precio de la producción entregada.

1. La cosecha manual

Se trata del modo más tradicional de cosecha de la caña de azúcar, y en muchos países aún la recolección se realiza de esta forma, sobre todo en aquellos en desarrollo.

En la cosecha manual se utiliza una herramienta de corte denominada en Tucumán comúnmente como “macheta”. Hasta mediados de los años sesenta, el trabajador cortaba (“hachaba”) las cañas en la base, lo más cerca del suelo posible. Luego con el mismo instrumento, “pelaba” el tallo quitándole todas las hojas, lo que incluía el corte de las puntas (que se descartan por su bajo contenido de azúcar, lo que pueden constituir un residuo castigado en el ingenio), lanzando luego la caña cortada sobre el terreno para la formación de cordones.

A partir de mediados de los 60 y 70 se impone la práctica de la quema de la caña en pie, eliminando las hojas y evitando la tarea del pelado. Como la quema de la caña en pie generaba llamas de gran altura, y comenzaron a producirse problemas en la infraestructura (sobre todo en los tendidos eléctricos), se empieza a difundir la alternativa de acondicionar la caña cortada entera en cordones, quemando luego esos cordones para eliminar las hojas.

La disposición en que los tallos son acomodados en el terreno depende de la forma de cargamento que se utilice en la finca. Generalmente se preparan “brazadas” (conjuntos de tallos ordenados para facilitar el traslado) que se cargan a mano conformando “paquetes” de unos 3.000 kg sobre los carros que realizan el transporte hasta el ingenio.

La capacidad de corte de un trabajador experimentado promedio que realiza esta actividad (varía entre personas de acuerdo al ritmo de trabajo y la resistencia física de cada uno) oscila entre unas 5 toneladas por día, en los casos en que la caña se quemó previamente, de 2 a 3 toneladas por día cuando se cosecha caña en verde (Fogliata, 1995). Además de esta condición inicial de la caña (quemada o no), otro factor que influye en el rendimiento de los cortadores es el porte de la caña que se está cosechando. Plantas erectas facilitan la actividad, mientras que si se encuentran caídas, cruzadas o con mucha maleza el trabajo resulta más difícil y el rendimiento disminuye.

En 1966, Murmis y Waisman (1969) estimaron que un total de 8.000 obreros permanentes y 42.000 transitorios (35% proveniente de provincias limítrofes) trabajaban en las fincas de los cañeros independientes. Los mismos autores realizaron una encuesta durante la zafra de 1966 en los ingenios azucareros del noroeste donde muestran que el volumen de trabajadores ocupados en la cosecha de caña por estas industrias ascendía a 13.000 (3.300 permanentes y 9.700 transitorios). De este total de trabajadores, podría decirse con cierta seguridad que los 51.700 tran-

sitorios eran seguramente cosecheros. Hacia fines de la década de los noventa, según dirigentes de la Federación Obrera Tucumana de la Industria del Azúcar (FOTIA), había un 50% menos de trabajadores del surco con respecto a dos décadas atrás (Murmis, 1998).

La cosecha manual de la caña de azúcar decreció gradualmente a partir de la década del setenta. Finalizó de esta manera la etapa en que Tucumán recibía miles de cosecheros cada año provenientes de las provincias limítrofes, que se instalaban con sus familias durante cuatro a seis meses en condiciones penosas para llevar adelante la zafra y en la cual trabajaban por igual varones, mujeres y niños. Este cambio está dentro de un proceso general de transformación de las relaciones laborales del sector agropecuario, donde se considera tanto la eficiencia que implica erradicar el deshoje manual como el mejoramiento de las condiciones de trabajo de los peones rurales.

2. La cosecha semimecanizada¹

En la alternativa semimecánica, el corte de la caña también es manual, pero en vez de realizarse la carga “a hombro” de los cosecheros en el medio de transporte de que se trate, se utilizan cargadoras hidráulicas que van colocando la caña en tolvas autovolcables, pudiendo trabajar con o sin transbordadoras en las cabeceras de los lotes para trasladar mayor cantidad de kilos.

Las cargadoras pueden ser autopropulsadas o, en muchos casos, montadas sobre tractores de los mismos productores o empresas de servicios. Su operación requiere una capacitación específica. Cuanta mayor experiencia y capacitación tenga el operador, mayor será la eficiencia del transporte y menor será la cantidad de material extraño presente en la carga o la materia prima que quede desperdiciada en el campo. Aunque también influyen otros factores como el tonelaje del cañaveral, las condiciones del suelo o la presencia de caña volcada.

Los sistemas semimecanizados de cosecha estuvieron vinculados desde un primer momento con el uso de la quema, que tiene como objetivo la eliminación de las hojas. Al comienzo, la industria se resistía a la recepción de caña quemada porque contenía mayores impurezas, aunque finalmente tuvieron que adaptarse para poder competir por el abastecimiento de materia prima.

Como todo proceso de mecanización, uno de los objetivos esenciales es aumentar la productividad de la mano de obra y la contracara resulta ser la disminución del empleo. En efecto, las distintas etapas de mecanización de los procesos de cosecha condujeron a una disminución constante y sostenida de la cantidad de trabajadores empleados, acentuándose desde comienzos de la década de 1990 (Giarraca, Bidaseca y Mariotti, 2001). La mencionada carga mecánica de la caña, por ejemplo, redujo a menos

¹En el trabajo de Jaldo Alvaro *et al.* (2016) se describen ampliamente las diferentes innovaciones que acompañaron las primeras mecanizaciones de la cosecha en Tucumán.

Tipo	Porcentaje de formas de cosecha en 1988 y 1996	
	1988	1996
Manual	82	43
Corte manual y carga mecánica	8	20
Corte y carga mecánica	10	16
Cosechadora mecánica integral	0,1	21
Total	100	100

Tabla 1. Formas de cosecha de caña de azúcar en Tucumán en 1988 y 1996.

Fuente: Encuesta GER, 1988 y 1996.

de la mitad los jornales necesarios para cosechar una hectárea (Tort, 1982).

Giarraca *et al.* (2001) presentan una comparación entre dos estudios realizados en 1988 y 1996 por el Grupo de Estudios Rurales (GER) del Instituto de Investigación Gino Germani², mostrando la evolución en esos ocho años de los diferentes tipos de cosecha de caña. Los datos se muestran en la tabla 1.

La tabla muestra que entre 1988 y 1996 la cosecha manual descendió de casi 82% al 43% del total; el sistema semimecanizado pasó del 18% al 36% y el uso de la mecanizada integral se incrementó del 0,1% al 20,5%. Puede observarse claramente la caída a la mitad en el porcentaje de productores que cosechaban su caña a mano, con un correlato evidente en la ocupación de mano de obra en el cultivo.

Un estudio presentado por Alves (2006) para el caso de San Pablo (Brasil) expone cómo la tecnología y las innovaciones incorporadas en la caña de azúcar aumentaron la productividad del trabajo en el cultivo, medida en toneladas de caña cortada por día/persona ocupada en la actividad. En la década de 1950, la productividad del trabajo era de 3 toneladas de caña cortadas por día de trabajo; en la década de 1980, la media pasó a 6 toneladas de caña por día/persona ocupada y, en el final de la década de 1990 e inicio del siglo XXI, alcanzó las 12 toneladas de caña por día. No es posible decir que el esfuerzo físico de los trabajadores disminuyó, pero sí que las técnicas y la maquinaria incorporadas direccionaron ese esfuerzo hacia levantar una mayor cantidad de caña por trabajador empleado.

2.1 La cosecha tipo Luisiana

Una especie de transición entre la cosecha semimecanizada y la mecanizada integral la constituyó el uso de máquinas cortadoras/apiladoras, que podían ir combinadas con cargadoras, conocidas como “tipo soldado” o “tipo Luisiana” por su origen en aquel estado norteamericano³.

²Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

³Situaciones de mecanización intermedias también las constituyeron

eran autopropulsadas, se desplazaban sobre ruedas y cortaban los tallos de caña –previamente quemada– en la base, hacían el despunte y disponían los tallos enteros en el suelo, para ser alzados manual o mecánicamente (Fogliata, 1995). En Tucumán, llegaron a encontrarse 35 de estas cosechadoras para la zafra de 1964 (Hemsey y Zuccardi, 1967). Las marcas de estas máquinas eran Cameco, Thomson y J&L Honiron, aunque en Tucumán se difundieron solo las dos últimas en las décadas de 1960 y 1970 y continuaron utilizándose hasta los años noventa⁴.

Olea *et al.* (1993) explican los intentos de mecanización de la cosecha en Tucumán en distintos ciclos discontinuos, incluyendo el sistema tipo Luisiana:

1961 – 1964: sistema tipo Luisiana

1972 – 1982: sistema integral

1979 – 1982: retorno del sistema tipo Luisiana

1992 ... retorno del sistema integral

El rendimiento de corte de las cosechadoras “tipo Luisiana” era de entre 25 y 35 t/hora, pero presentaba varios inconvenientes: no cortaba bien cañas caídas, tenía una baja eficiencia en campos con alta producciones, era muy exigente en el aporque de las cañas para garantizar un buen corte de las cepas, el despuntado era deficitario y sufría de atascamientos frecuentes (Olea *et al.*, 1993).

Es interesante señalar que en el 2014 en Luisiana (EE. UU.) había 500 productores familiares con 178.000 ha de caña de azúcar. El 10% del área todavía se cosechaba con estas cortadoras “tipo soldado” de dos surcos para luego ser quemada y cargada para llevar al ingenio. El 20% de esta superficie se quema “en pie” y se cosecha con integrales. El 70% se cosecha “en verde” con máquinas integrales y

ron diversos modelos de agavilladoras, cortadoras-hileradoras simples y otros sistemas de corte por “empujado” (tipo Hawái) que se probaron sin demasiada difusión (Fogliata, 1995).

⁴Aún hoy es posible ver una cosechadora «tipo soldado» Thomson (modelo 1963) modificada, realizando cosecha en verde en lotes donde no hay suficiente piso para una cosechadora integral. Famaillá, Tucumán, Argentina (EEAOC, 2016) (<https://www.youtube.com/watch?v=KK421ekTvqg>).

se quema el rastrojo posteriormente. Es decir, que el 100% de la superficie es quemada en algún momento del ciclo (Legendre, 2014).

3. Cosecha mecanizada integral

En la cosecha totalmente mecanizada, conocida también como “integral”, se usan máquinas que hacen todo el proceso que realizaba manualmente el obrero del surco, agregándole el troceado de los tallos. La caña pasa por varias etapas dentro de la máquina, hasta que es descargada sobre el transporte del que se disponga.

La cosecha mecanizada integral tipo australiana comenzó en Argentina en 1972 con las máquinas que introduce el Ingenio Ledesma de Jujuy, y el cambio se trasladó a Tucumán a los pocos años. Olea *et al.* (1993) presentan el número de máquinas (nacionales e importadas) existentes en la provincia en los distintos períodos en que el autor clasifica la mecanización del cultivo (tabla 2).

Aparentemente, la gran cantidad de integrales que se adquirieron en la década 1972-1982 no habrían logrado demostrar su superioridad respecto de la cosecha semimecánica. La dificultad principal pasaba por un bajo rendimiento operativo (t/hora) debido a la falta de coordinación con la logística del transporte, que quedaba demorado en el “canchón” de recepción en el ingenio y muchas veces obligaba a las cosechadoras a parar de trabajar. En otros casos, la materia prima era resistida por el ingenio por su alto contenido de trash, y la facilidad con la que se deterioraban los jugos en la caña troceada y estacionada. Además, sus rendimientos sacarinos resultaban muchas veces inferiores a los de una caña entera estacionada. (Olea *et al.*, 1993). Esos problemas, sumados a la mano de obra barata, el tipo de cambio devaluado, los altos niveles de pérdida de materia prima durante la operación de cosecha, y las importaciones limitadas frenaron el avance de la tecnología por una década.

Durante los años 90, sin embargo, el sector se desreguló totalmente. El Plan de Convertibilidad elevó el costo de los salarios en dólares, y la apertura de las importaciones con la política de “un dólar igual a 1 peso” facilitó la adquisición de maquinaria a precios mucho más accesibles para el

sector. El Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2002 revela la existencia de 218 unidades en Tucumán, ya con tecnología que había superado algunos de los problemas de la década anterior.

Durante 2011, se realizó en la provincia de Tucumán el Censo Provincial de Medianos y Grandes Productores Cañeros relevando solamente a aquellas explotaciones con más de 40 hectáreas de caña. Los resultados muestran que la estrategia de cosecha más empleada era la integral en verde⁵ y en menor medida la semimecánica con quema acordonada. En la tabla 3 se muestran los datos. Debe notarse que la suma del número de productores en cada tipo de cosecha supera el total de casos (844) dado que en algunos emplean diferentes estrategias en distintas parcelas de la misma explotación.

De acuerdo con este relevamiento, ya en 2011 el 86% de los productores de más de 40 hectáreas utilizaba la cosechadora integral sin quema previa, representando el 93% de la superficie de los productores medianos y grandes.

En 2014, el 93,2% de la superficie con caña de azúcar se habría cosechado mecánicamente (Ostengo *et al.*, 2015). En efecto, el avance reciente de la mecanización se puede visualizar claramente en las cifras de importaciones de cosechadoras integrales en el período 2003 hasta julio del 2015 (tabla 4).

Estas cifras de máquinas nuevas incorporadas en el sector (no necesariamente en Tucumán) superan con creces los valores anteriormente presentados para las décadas precedentes, lo que indica una clara reafirmación de la tendencia a la incorporación de este paradigma tecnológico de cosecha.

Los objetivos fundamentales de la mecanización agrícola son aumentar la productividad de la mano de obra, y reducir los costos operacionales (Ripoli y Mialhe, 1987), además de mantener el nivel de competitividad de los productos y facilitar el gerenciamiento de las tareas intrínsecas a la actividad (Braunbeck y Oliveira, 2006).

⁵En la cosecha en verde, las cañas son cosechadas sin ningún método de preacondicionamiento como ser la quema o remoción de las hojas.

Período	Número de unidades	
	Cosechadoras tipo Luisiana	Cosechadoras integrales
1961–1964	35	
1972–1982		240
1979–1982	38	16
1992		15– 20

Tabla 2. Número de máquinas de diferentes tipos, de fabricación nacional e importadas utilizadas para la cosecha total de la caña de azúcar en Tucumán.

Fuente: Olea *et al.*, 1993.

	Integral en verde	Integral con quema previa	Semimecanizada con quema en pie	Semimecanizada con quema acordonada	Manual con quema acordonada	Total
Productores	726	20	19	120	19	844
Superficie involucrada (ha)	176.460	1.473	1.014	9.401	1.050	189.400
Maquinaria existente	96 cosechadoras		101 cargadoras + 43 cortadoras y despuntadoras		-	-

Tabla 3. Distribución de productores según tipo de cosecha empleada.

Fuente: Dirección de Estadísticas de Tucumán, 2011.

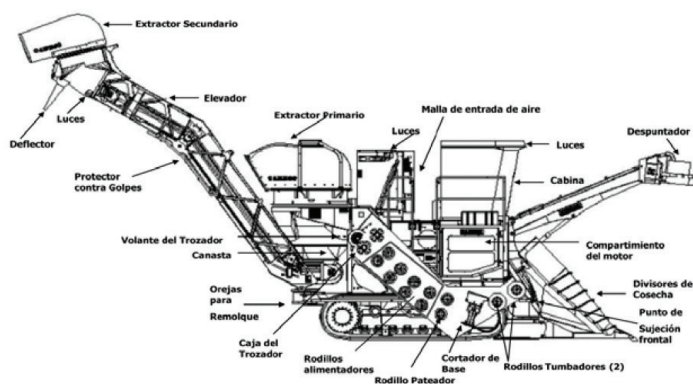


Figura 1. Diagrama de una cosechadora integral de caña de azúcar con sus diferentes componentes y sistemas.

Año	Cantidad
2003	14
2004	34
2005	30
2006	28
2007	45
2008	25
2009	16
2010	40
2011	48
2012	41
2013	22
2014	24
2015	19
Total	386

Tabla 4. Cosechadoras Caña de Azúcar. Importaciones entre los años 2003 a 2014 y enero-junio de 2015.

Fuente: Elaboración de Jaldoy Rabaglio, Instituto de Economía del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) sobre datos proporcionados por Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), 2015.

3.1 La cosechadora integral

Una cosechadora integral trabaja de la siguiente forma: una vez que la máquina se coloca frente al surco de caña⁶ y comienza a avanzar, la primera acción que realiza es cortar las puntas de la planta (que tienen muy bajo contenido de sacarosa) a través de un mecanismo llamado “despuntador” (ver figura 1). Ese “despunte” se desprende hacia un costado y va quedando disperso en el suelo a lo largo del surco.

Por detrás, comienza a actuar el sistema de alimentación de la máquina, compuesto por los divisores de líneas y rodillos alimentadores que van direccionando la caña. El rolo tumbador inclina la caña para que su base quede expuesta al sistema de corte. Los divisores de cosecha introducen la caña hacia el centro de la máquina y contribuyen a levantar las cañas que están caídas o cruzadas.

El corte de base es una de las funciones principales de la cosechadora y de su eficiencia de operación depende en gran medida la cantidad y calidad de la caña que va al ingenio. Todo lo que sea material contaminante (suelo y partes de la planta principalmente) que entre en el sistema, reduce la capacidad de molienda y aumenta las pérdidas

⁶La mayoría de las máquinas disponibles en Tucumán cosechan un surco a la vez, aunque existen máquinas en el mercado que levantan dos surcos simultáneamente.

de sacarosa en las etapas de producción de azúcar. La operación de corte basal es realizada por dos discos rotativos con cuatro o cinco cuchillas de corte cada uno, que giran a velocidad variable.

A pesar del desarrollo de esta tecnología, todavía existen restricciones para el ajuste del corte basal que permitan un funcionamiento óptimo. El objetivo es cortar los tallos lo más al ras del suelo posible para aprovechar al máximo el rendimiento de la planta. En condiciones ideales para la cosechadora, los tallos de la caña están en una superficie prácticamente uniforme y sin ondulaciones, lo que no provocaría preocupación con los ajustes. Sin embargo estas no son generalmente las condiciones que se dan en las fincas de los productores, que muchas veces tienen imperfecciones en el suelo como desniveles, depresiones, presencia de piedras, tocones de raíces, etc. Para evitar que las condiciones adversas de operación terminen dañando las partes más sensibles de la máquina, los fabricantes buscan medios mecánicos y electrónicos de ajuste de la altura del sistema de corte. Aun así, la habilidad del operador de la cosechadora resulta esencial: incluso en medio de la operación de cosecha el maquinista puede ir realizando ajustes que permiten una minimización de las pérdidas de materia prima y preservar el equipamiento. Lamentablemente, cuando se trata de empresas de servicio de cosecha las prioridades pasan más por cuidar los equipos antes que por extraer el máximo de caña posible de cada hectárea del cañaveral.

Luego de pasar por el sistema de alimentación de la cosechadora, el tallo entra en el proceso de troceado que pica la caña en fracciones gracias a seis u ocho cuchillas

montadas en dos rodillos. Este sistema es graduable a diferentes tamaños. Su función es preparar la caña para la limpieza del material extraño, especialmente de las hojas, ya que con el picado de los tallos también se pican las hojas que quedan más livianas y son susceptibles de ser extraídas más fácilmente por su menor peso al igual que los trozos de cogollo y brotes. Este sistema a la vez que pica la caña, la lanza hacia la tolva para facilitar la extracción del material extraño.

El sistema de limpieza o extractor primario consiste en una tolva con un extractor o ventilador ubicado en la parte superior, que succiona la materia extraña y la expulsa nuevamente al campo. La velocidad de giro de las aspas es graduable según se requiera extraer menor o mayor cantidad de materia extraña de la materia prima. El sistema debe ser graduado adecuadamente para que las pérdidas de caña sean las menores posibles. En esta parte del proceso es cuando se logra la mayor limpieza de los tallos troceados.

Los trozos de caña limpios entran luego en un sistema elevador, un conductor metálico que los lleva al sitio más alto de la máquina para cargar a los medios de transporte del producto al ingenio. Al momento de lanzar la caña, un sistema de extracción más pequeño (de menor diámetro) expulsa algunos materiales que se desprendieron a lo largo del conductor, y estos caen finalmente al campo.

Las cosechadoras integrales operan en el campo junto con equipos autovolcables (8 a 10 toneladas) que reciben inicialmente los trozos de caña, para el trasbordo posterior de la materia prima a unidades de transporte de alta capacidad de carga, traccionados por tractores y/o camiones

Variable	Cosecha manual	Cosecha mecanizada
Materia extraña	En caña verde: 2 a 4%	En caña verde: 10 a 12%
	En caña quemada: 1,5 a 2%	En caña quemada: 8 a 10%
Corte en verde	Mayor dificultad » costos	Menor dificultad
Eficiencia	Rendimiento del cortador:	Rendimiento de la cosechadora:
	Caña semilimpia: 2-4 t/hombre/día	Caña semilimpia: 30 t/hora
	Caña quemada: 5-7 t/hombre/día	Caña quemada: 45 t/hora
Transporte	Menor eficiencia por transporte de cañas enteras	Mayor eficiencia al incrementar un 30% del peso por viaje por mejor acomodamiento de los trozos
Otros	Requiere mayor supervisión para garantizar calidad y evitar accidentes	Requiere supervisión para garantizar menores pérdidas y materias extrañas
	Mayor extensión en el tiempo con los riesgos asociados	Más rápida lo que permite una mejor organización
	Menos dependiente de factores del cultivo	Muy dependiente de distintos factores del cultivo: espaciamiento, variedades apropiadas, etc.
	Adaptación a cualquier tipo de lote	Exige adecuación de los lotes para el movimiento de la maquinaria
	La caña entera acepta un estacionamiento mayor	La caña troceada no se puede almacenar por períodos largos

Tabla 5. Comparaciones entre los sistemas de cosecha de caña de azúcar manual vs. mecanizado.

Fuente: Adaptación sobre cuadro de Mantilla (2010) y datos de Rodríguez *et al.* (2010).

según la distancia a la fábrica. En otros casos, la cosechadora carga directamente sobre el equipo de transporte, que entra al lote junto a la cosechadora, evitando el costo intermedio del autovuelco, pero con mayor riesgo de daño sobre el cañaveral y compactación del suelo por el ingreso de los pesados equipos a la superficie de cultivo. En la mayoría de los años, en los inicios de la zafra, gran cantidad de lotes solo pueden ser cosechados con autovolcables porque la carga directa es muy difícil debido a las condiciones del suelo.

3.2 Las ventajas y desventajas de la cosecha mecanizada

La implementación de la cosecha mecanizada tiene factores a favor y en contra, que se presentan en la tabla 5.

Como puede verse entre los aspectos mencionados, la mecanización de la cosecha dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina. Podría decirse que para realizar una operación eficiente de cosecha mecánica integral debe tenerse en cuenta una ecuación que incluye el diseño del lote, los atributos de las variedades, la máquina en sí misma, el operario y la logística del corte y transporte.

El tipo de máquina para utilizar condiciona ciertamente las características del lote que se va a cosechar. Por un lado, el espaciamiento entre surcos debe estar adecuado a las medidas de la cosechadora de manera de evitar el pisoteo de las cepas lo que constituye un problema para el rebrote del ciclo siguiente. Una mayor densidad de plantas podría asegurar un mejor rendimiento por hectárea de la caña, pero no podría cosecharse mecánicamente. El diseño de los surcos debe ser parejo y deben estar paralelos entre sí, ya que la cosechadora no puede ir avanzando en líneas irregulares, lo cual condiciona la tecnología utilizada en la plantación. Cuanto más largos sean los tablones, la eficiencia de la máquina es mayor, lo que representa un inconveniente en fincas muy pequeñas. De la misma manera, es deseable que no existan obstáculos para la circulación de las máquinas como tranqueras, caminos internos, acequias o cables eléctricos. El movimiento de toda la logística de la cosecha mecánica integral exige una superficie de desplazamiento –para evitar pérdidas de tiempo con maniobras excesivas– que debe restarse a la de producción y que no todas las fincas disponen. Deberían además eliminarse todas las irregularidades posibles en el terreno como surcos, barrancos, agujeros, tocones, etc. que puedan desequilibrar a las cosechadoras. Además, un terreno desperejado haría que el corte de los tallos no se hiciera correctamente en la base, con el riesgo –además de reducir la cantidad de caña cosechada– de introducir impurezas minerales y vegetales que serían transportadas para a la industria juntamente con la materia prima o de romper piezas del sistema de corte. Las cosechadoras tienen un centro de gravedad alto, por lo que no pueden trabajar en terrenos con una inclinación mayor a 12% para evitar posibles accidentes, y esta es una situación que se presenta en algunas áreas del pedemonte cañero tucumano.

Por otro lado, las variedades de caña más adaptadas para la cosecha mecánica deben presentar algunas características fenotípicas deseables como tener un porte erecto, una buena resistencia al corte mecánico para que no haya un desgajado del tallo y un daño a la cepa que queda en el campo para rebrotar en el ciclo siguiente, y en lo posible un deshojado natural que facilite la limpieza disminuyendo el grado de impurezas vegetales en la industria. La curva de maduración de las variedades y su período útil de industrialización son claves para garantizar un buen patrón de maduración en toda la superficie cosechada.

En cuanto a las máquinas, resulta difícil proponer características deseables ya que el mercado es reducido y las opciones son pocas. Para el caso de Tucumán, salvo el intento de fabricación local de cosechadoras de caña de azúcar en 1975 por Indal S.R.L., no se utilizan máquinas de industria nacional y las marcas más comunes son Toft, Class, Cameco, Massey Ferguson, Case y John Deere (que compró Cameco) (Vicini y Vicini, 2010). Todas ellas son de caña troceada. Las dos últimas marcas son las únicas que continúan vendiéndose en la actualidad, y desde hace pocas campañas John Deere desarrolló un modelo (conocido como Cobra), que se encuentra disponible en la provincia, que tiene una articulación que permite “quebrar” la máquina en dos partes y realizar un giro en un radio reducido (3 metros) lo que, sumado a la tracción en las cuatro ruedas, le otorgaría mayor adaptabilidad a condiciones de lotes pequeños con surcos cortos y cabeceras angostas, aun en condiciones de suelos saturados con agua (Fernandez de Ullivarri *et al.*, 2015).

Con el proceso de mecanización de la cosecha de caña, han surgido nuevos puestos de trabajo que requieren un cierto grado de capacitación y de habilidades que antes no se necesitaban en el sector (operadores, mecánicos especializados, diversos servicios). Los operadores de cosechadoras, por ejemplo, manejan una máquina de un valor de entre 200 y 500 mil dólares y su responsabilidad es muy grande. En los últimos años, los concesionarios de las empresas de cosechadoras han comenzado a dar entrenamientos específicos que efectúan mediante simuladores que hacen todos los movimientos de la cosechadora, además de poseer pantallas electrónicas que facilitan el conocimiento de todas las partes de la máquina, incluyendo sus tableros y funciones.

El operador, además de un total conocimiento técnico y funcional de la máquina, debe estar capacitado sobre el posicionamiento del despuntador porque es él quien define la posición de corte, buscando reducir el índice de impurezas vegetales llevadas para la industria. De la misma forma, deberá saber cómo conducir el corte de base de los tallos, resolviendo el compromiso entre cosechar lo más posible y –a la vez– evitar el daño a las cepas lo que comprometería la producción en el año subsiguiente.

La logística de corte y transporte constituye uno de los puntos críticos del sistema integral, siendo uno de los factores de mayor incidencia en la eficiencia de las cosechadoras. Esto está relacionado con los problemas de des-

carga en los ingenios, que pueden afectar directamente todo el diseño y funcionamiento del sistema, influyendo directamente en la capacidad operativa de las cosechadoras e incremento de los costos. Consecuentemente, un ordenamiento eficiente de la recepción de la caña integral resulta esencial para disminuir los tiempos de espera. Este aspecto es prioritario en la materia prima proveniente de este sistema de cosecha porque al trabajar con caña troceada es más susceptible al deterioro por estacionamiento.

Por lo tanto, la capacidad de trabajo de la cosechadora se incrementa cuando es mayor la experiencia y destreza del operador, el diseño de la plantación se adapta a la cosechadora, y se mejora la logística de traslado, además de considerar el estado de funcionamiento de la máquina en general, disminuyendo el tiempo de mantenimiento o reparación dedicado a estas.

4. Los problemas de la cosecha mecanizada integral

Probablemente sea la falta de otras propuestas tecnológicas para la cosecha de la caña de azúcar que ha llevado a que los sectores vinculados a este cultivo en los países más mecanizados se hayan, en cierta manera, insensibilizado frente a los problemas que las cosechadoras integrales generan: la agresividad hacia las plantas, el daño a las cepas con el corte y el pisoteo, la compactación de los suelos y las pérdidas en la misma operación de cosecha y dentro del proceso del ingenio (Norris, 2014).

4.1 Las pérdidas en la cosecha mecanizada integral

El cambio de la cosecha manual a la modalidad de cosecha mecanizada integral determina que el componente de pérdidas se vea incrementado con respecto a los otros tipos de cosecha, debido a que la potencia de los elementos de limpieza incorporados a la máquina es elevada, en la medida también que los residuos de cosecha –especialmente hojas y cogollos– cubren o enmascaran a las que se consideran pérdidas visibles y que tal vez sean evitables.

Las pérdidas en la cosecha de caña de azúcar pueden catalogarse como visibles e invisibles. Las visibles son fácilmente detectadas en el campo con métodos de muestreo y conteo a campo, mientras que las invisibles son astillas o fragmentos de tallo y jugo que se desprenden durante la acción de los mecanismos de corte y picado dentro de la cosechadora, que se mezclan con los residuos reales (hojas, cogollos, etc.) y son lanzados hacia el campo por los ventiladores. Estos pequeños trozos, que podrían ser molidos en el ingenio ya que contienen azúcares, son muy difíciles de detectar a simple vista en el conjunto de la malhoja que queda en el suelo luego del paso de la máquina⁷. Las pérdidas visibles están constituidas por caña entera no recolectada, tocones cortados por arriba de lo normal, porciones maduras adheridas al cogollo, trozos enteros y trozos desmenuzados (Rodríguez *et al.*, 2010).

⁷Por malhoja nos referimos a todas las hojas y restos de la caña que quedan en las fincas tras la cosecha.

Las pérdidas invisibles suelen tener relación con un mal funcionamiento, mantenimiento o regulación de los órganos de corte y su importancia es aún mayor si se tiene en cuenta que implican daños a la cepa que probablemente disminuya su productividad en el ciclo siguiente (Rodríguez *et al.*, 2010).

Ninguna máquina es 100% eficiente, y muchos factores influyen en el aumento de pérdidas durante la operación de cosecha. Teóricamente, las pérdidas son aceptables hasta el 2,5% del rendimiento cultural, y todo lo que esté por encima de esos valores requiere revisar el funcionamiento del proceso en su totalidad. Para evitar pérdidas, resulta fundamental que el operador se familiarice con los controles, ajustes y regulaciones que posee una máquina, para poder usarlos correctamente y lograr así la mejor calidad de cosecha posible. Con respecto al cañaveral, se necesita tener una apreciación clara, a campo, del lugar donde se está trabajando para ajustar el trabajo a esas condiciones. Una de las problemáticas más importantes es el vuelco de la caña de azúcar previo a la cosecha; se manifiesta generalmente en suelos húmedos cuando ocurren vientos arremolinados, muy fuertes y temporarios acompañados por lluvias abundantes que hacen caer gran parte de las cañas de un lote. Esto trae complicaciones y pérdidas de calidad de todo tipo, fundamentalmente por entrada de agentes patógenos y deterioros bioquímicos del tallo, pero en lo que respecta a cosecha se manifiesta en la imposibilidad a veces de que la máquina realice la tarea correspondiente.

La experiencia en Tucumán de la aplicación de un método objetivo y ajustado para estimar las pérdidas y a la vez definir límites de tolerancia admisible o aceptable es escasa (Rodríguez *et al.*, 2010). La agroindustria y los productores independientes no efectúan una valoración objetiva de las pérdidas generadas en la tarea de recolección de la caña. Se pueden citar como excepción a unos pocos ingenios que poseen personal técnico especializado en cosecha, que conducen algún equipo de monitoreo durante la campaña.

En el estudio de Rodríguez *et al.* (2010), las pérdidas totales de la cosecha mecánica integral en la campaña 2008/2009 fueron de 4,46% de rendimiento, valor muy por encima de lo aceptable. En esa campaña Tucumán procesó más de 9.200.000 toneladas provenientes de cosecha mecanizada integral. Las pérdidas por arriba del límite permitido representaron un valor cercano a 180.000 toneladas, lo que al precio de aquel momento mostró que 5,5 millones de dólares habían dejado de entrar en el circuito sectorial.

4.2 Las pérdidas en la interface campo-ingenio

La articulación de las operaciones logísticas de cosecha y transporte hacia los ingenios representa un problema escasamente resuelto. Se entiende que el objetivo de un ingenio es obtener el mayor beneficio de su inversión en el proceso fabril, y para eso debería funcionar cerca de su capacidad de molienda durante el mayor período posible en el año. Eso requiere de una adecuada provisión de materia

prima, que debería ir llegando a medida en que el ingenio la necesite.

Los ingenios de Tucumán controlan alrededor de 20% de la superficie cañera de la provincia, pero el 80% restante está en manos de productores independientes⁸. Los productores buscan cosechar cuando consideran que el rendimiento de su cañaveral es el mayor que pueden obtener evitando arriesgarse ante eventuales heladas y los ingenios procuran asegurar la entrada de materia prima en forma continúa priorizando el funcionamiento de la molienda. Por lo tanto, al momento de la cosecha, la articulación de intereses de los productores con los de la planta industrial no siempre resulta fácil.

La cosecha como proceso presenta tres etapas que deben resultar coordinadas: operaciones en el campo, transporte a fábrica y operaciones en el ingenio. En la cosecha mecanizada, la integral va llenando con la caña troceada un medio de transporte (autovuelco, camión, carro transportador, etc.) que va acompañando su movimiento a lo largo de los surcos. Cuando este se llena, debe rotar con otro vacío para –idealmente– poder mantener la tarea sin detenerse. En los casos en que se usan medios de transbordo, como el autovuelco, luego estos deben descargar sobre el camión que transportará la caña al ingenio en un área determinada del campo donde estos deben estar listos para recibirla.

Una vez que se termina la carga, el camión parte para la fábrica recorriendo una distancia variable, sobre caminos de muy variada calidad. Mucha de la red caminera en el área central cañera de Tucumán todavía es de tierra, con diversos grados de mantenimiento, y eso tiene gran influencia en la eficiencia de esta etapa.

En el ingenio, finalmente, estos transportes deben descargarse. Cuando están nuevamente vacíos, estos vehículos deben volver al “frente de cosecha”⁹. Es preciso tener en cuenta que puede haber varios frentes de cosecha, a distancias variables, que alimentan de caña al ingenio diariamente.

Uno de los problemas en Tucumán –así como en muchos países– es la falta de coordinación sea entre productores como entre ellos y el ingenio. Como consecuencia de esta carencia, se producen grandes filas de camiones y todo tipo de transportes en el llamado “canchón” de las fábricas que pueden durar desde horas a días. Estos tiempos de espera reducen la capacidad de transporte de cada uno de los camiones individualmente. Por lo tanto, se necesitan más camiones para abastecer la capacidad de molienda del ingenio y el costo total de la logística se incrementa.

Para el caso de la cosecha mecánica integral estas esperas representan un problema adicional: la evaporación y el crecimiento de bacterias a partir de los extremos de los

trozos de tallo hacen que el contenido de azúcar se degrade considerablemente a medida que pasa el tiempo. En definitiva, el rendimiento de azúcar por hectárea disminuye.

Para la caña cosechada manual o semimecánicamente en tallos enteros el problema no es tal, ya que pueden pasar varios días luego de cortados sin pérdidas significativas.

4.3 El potencial de compactación de los suelos

La compactación, considerada como uno de los factores causante de degradación del suelo, se debe a efectos naturales y al tránsito de equipos, que afecta la calidad del suelo y la sostenibilidad porque interfiere el flujo de agua y aire, el desarrollo de las raíces y finalmente disminuye la productividad.

En el cultivo de la caña los problemas de compactación se magnifican durante la cosecha por la alta intensidad de tráfico que demanda la labor y por el tránsito directo sobre la cepa (pisoteo). Una cosechadora integral pesa entre 15 y 18 toneladas, y a eso debe sumarse el tránsito de camiones y carros autovuelco que circulan por los lotes cargados de caña cosechada. El sistema utiliza aproximadamente 50 toneladas de equipo para retirar del campo unas 80 toneladas de biomasa por hectárea (Braunbeck y Graziano Magalhães, 2014).

Con la conciencia de este riesgo, la secuencia de trabajos culturales que abarca la actual tecnología de cultivo incluye, entre otros, la remoción profunda de los entresurcos con cinceles o subsoladores. Con esta labor se busca mitigar la compactación de la trocha ocasionada por el tránsito de la maquinaria, principalmente, la provocada durante el período de cosecha. Sin embargo, los estudios realizados por investigadores del Instituto de Ingeniería Rural (IIR-INTA) en establecimientos ubicados en los departamentos de Cruz Alta y Leales (Tucumán) indican que ese objetivo dista mucho de ser alcanzado. Por un lado, los resultados obtenidos demuestran que, por el contrario, se produce un efecto inverso evidenciado por una mayor resistencia mecánica en la zona periódicamente laboreada respecto de las líneas de cultivo que no son alteradas durante todo el ciclo productivo (Tesouro *et al.*, 2011). Este efecto contraproducente de la labranza puede ser explicado por la pérdida de la capacidad que sufre el suelo al ser disturbado, que lo hace más vulnerable a las altas cargas normales a la que es luego sometido como consecuencia del tránsito. Se inicia así un proceso cíclico de roturación y recompactación que provoca una paulatina densificación del suelo. Este proceso representa una restricción mecánica al desarrollo radicular de los cultivos con un probable efecto sobre el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, los altos coeficientes de labranza observados en Tucumán (esto es la relación entre la fuerza requerida y la sección de suelo disturbada en una labor de preparación del suelo para plantar la caña) explican en gran medida los elevados consumos de combustible registrados durante la etapa agrícola. En otras palabras, el grado de compactación que presentan muchos suelos cañeros de Tucumán que llevan ya 20 años de cosecha mecánica in-

⁸En los ingenios integrados de Salta y Jujuy la proporción es inversa, así como en Brasil, donde los productores independientes poseen la proporción menor de caña.

⁹Un frente de cosecha es un grupo de fincas geográficamente cercanas, aunque no necesariamente contiguas.

tegral, no solo están limitando el crecimiento de los cultivos, sino incrementando los costos de producción por el excesivo consumo de gasoil en las labranzas (Tesouro *et al.*, 2011).

Lejos de ser el epílogo del desarrollo tecnológico de la cosecha de caña de azúcar, el sistema mecanizado integral es probablemente apenas un capítulo más. El mismo concepto de la máquina va evolucionando y, por ejemplo, los últimos modelos han visto incrementada su capacidad en respuesta a la necesidad de ir reduciendo costos comparativos, la velocidad de cosecha también ha aumentado, el tamaño del troceado se ha reducido, y se han ido aceptando mayores niveles de trash. (Norris, 2014).

4.4. El problema de la quema

El uso del fuego es un tema de debate público en todo el mundo y una constante fuente de desacuerdos que se plantean a partir de su uso —supuestamente controlado— en actividades tanto urbanas como agropecuarias, y de la amenaza que supone para la salud, las vidas y las propiedades de las personas.

Profusas legislaciones y reglamentaciones provinciales y nacionales hacen frente a este problema, pero la realidad indica que los objetivos de estas normas todavía están lejos de poder cumplirse. En el caso de la caña de azúcar, la continuidad del uso de esta práctica, es una de las principales amenazas a la sostenibilidad del sector sucroalcoholero en la medida en que lo enfrenta crecientemente con el resto de la sociedad.

La quema en Tucumán se realiza en tres tipos de situaciones: las fincas que aún cosechan de manera semimecanizada, los casos que queman la caña antes de la cosecha integral y la quema la maloja que queda en el campo antes de la siguiente campaña.

Si en una cosecha semimecanizada la caña tuviera que “pelarse” en forma manual como se hacía en el pasado, el rendimiento del trabajo caería entre 3,6 y 1,8 veces, dependiendo de la variedad cortada, y eso significaría que la ganancia diaria del trabajador se reduciría entre 32 y 40% (Rípoli y Rípoli, 1995)¹⁰. Por lo tanto, para equiparlo con lo que gana un cosechero con el corte de caña quemada en el sistema semimecanizado, el jornal diario debería aumentar entre 60 y 68% provocando un aumento de costos demasiado expresivo. Por lo tanto, la exigencia de no quemar caña induce a la mecanización integral.

Los productores que realizan la zafra con integral reconocen que la cosecha mecánica es facilitada por una quema previa, porque se pueden reducir costos y se evitan castigos en el precio por exceso de suciedad (trash) en la materia prima, aunque también expresan que el fuego

alcanzado en un cañaveral en pie puede ser inmanejable (sobre todo si ocurre un viento inesperado). La quema de la caña en pie, sin embargo, se ha reducido al mínimo.

El uso del fuego, sin embargo, es mucho más común posterior a la cosecha. Muchos agricultores cañeros queman, sea para facilitar las labores posteriores, o —si se trata de zonas con exceso de humedad— para evitar una cobertura que demora el secado del suelo y complica el desarrollo de las plantas. Además, los residuos de cosecha se constituyen en material combustible ante eventuales quemaduras accidentales o inducidas por terceros, que son muy frecuentes.

La combustión del material vegetal contamina la atmósfera con elevadas emisiones de gases efecto invernadero y hollín, favorece las pérdidas de carbono y nitrógeno del suelo por volatilización y causa la acumulación de carbono en el suelo como carbón inerte (Graham *et al.*, 2002; Acreche y Valeiro, 2011). También resultan importantes los daños en la infraestructura rural, eléctrica, etc. como consecuencia de incendios accidentales originados en las quemaduras de cañaverales.

La conciencia cada vez mayor de la población urbana y rural respecto de las consecuencias de la contaminación ambiental ha aumentado sustancialmente la presión social sobre el sector y las autoridades gubernamentales en pos de soluciones al problema de la quema de cañaverales (Valeiro y Acreche, 2014).

CONCLUSIONES

El tipo de cosecha de caña de azúcar influencia una cantidad de aspectos que hacen al desempeño productivo del cultivo, a su resultado económico, a la generación de empleo sectorial y regional, a la evolución de la tecnología industrial y al impacto ambiental de la producción (Giarraca *et al.*, 2001; Pérez *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2009).

En efecto, la modalidad utilizada condiciona de forma importante la productividad y la longevidad de los cañaverales y tiene consecuencias sobre los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo. El diseño de la plantación debe concordar con las características de la máquina que hará la cosecha, y este diseño solo puede realizarse cada 5 o 6 años porque se trata de un cultivo semiperenne.

Además, define la cantidad y calificación de la mayor parte de la mano de obra que ocupa el cultivo y condiciona —y es condicionada a su vez por ella— la tecnología utilizada en el ingenio para la recepción y para el primer tratamiento de la caña. Si la cosecha incluye la práctica de quema, puede aumentar la concentración de CO₂ en la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero, disminuir el tenor de materia orgánica en el suelo y contaminar el aire con partículas sólidas que afectan la salud pública.

Por lo tanto, la mecanización integral de la cosecha dista mucho de ser simplemente el reemplazo de la mano de obra por una máquina. Más bien representa un cambio que

¹⁰Si bien los cálculos de Rípoli (1995) son realizados para las condiciones del estado de Sao Paulo en Brasil, entendemos que el criterio es absolutamente válido para las de Tucumán.

lleva implícito un nuevo ordenamiento de la actividad, que se caracteriza por la notable reducción del tiempo necesaria para la zafra.

Los problemas todavía pendientes de solucionar –la falta de adaptación a plantaciones de poco tamaño; las pérdidas de cosecha a campo y en la interface campo; el potencial de compactación de los suelos/decaimiento de los cultivos y la quema del rastrojo– indican que el sistema mecanizado integral no es el fin del camino del desarrollo tecnológico de la cosecha de caña de azúcar y que todavía resulta necesaria una mayor oferta tecnológica para esta etapa productiva.

Las exigencias de no usar fuego durante el proceso productivo reglamentadas en la provincia de Tucumán, y que son el objetivo de gran parte de las zonas cañeras en otros países, inducen al único camino posible: la cosecha mecánica integral en verde. Esto implica necesariamente la valorización del Residuo Agrícola de Cosecha (RAC) y un nuevo manejo tecnológico de esta biomasa, considerando probablemente innovaciones tecnológicas y el acceso a herramientas para una importante cantidad de productores de la provincia.

BIBLIOGRAFÍA

- ACRECHE, M.; VALEIRO, A. 2011. Balance energético y emisiones de gases de efecto invernadero de la agroindustria sucroalcoholera de Tucumán. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*. Caña de azúcar, 1(1), 34-39.
- ALVES, F. 2006. Por que morrem os cortadores de cana? *Saúde e Sociedade*, 15(3), 90-98.
- BENEDETTI, P. 2018. Primer relevamiento del cultivo de caña de azúcar de la República Argentina a partir de imágenes satelitales para la campaña 2018. EEA INTA Famailá. (Disponible: <https://inta.gob.ar/documentos/primer-relevamiento-del-cultivo-de-cana-de-azucar-de-la-republica-argentina-a-partir-de-imagenes-satelitales-para-la-campana-2018> verificado: 15 de enero de 2018).
- BRAUNBECK, O.A.; OLIVEIRA, J.T. 2006. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. *Engenharia Agrícola*, 300-308.
- BRAUNBECK, O.; GRAZIANO MAGALHÃES, P. 2014. Technological Evaluation of sugarcane mechanization. En: BARBOSA CORTEZ, L. (Coord.). *Sugarcane bioethanol- R&D for Productivity and Sustainability*, Sao Paulo, Brasil. Editora Edgard Blücher, 451-464.
- DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS DE TUCUMÁN. 2011. Censo Cañero Provincial 2011. (Disponible: http://estadistica.tucuman.gov.ar/archivos/8Sector%20Agropecuario/CensoCanero/REPORTE_final_Censo_C2011.pdf verificado: 11 de noviembre de 2017).
- FELIPE, N. 2013. Diagnóstico de los procesos comunicacionales desarrollados en la Mesa de Gestión Ambiental de Cruz Alta (Tesis de maestría). Facultad de Periodismo y Comunicación Social. Universidad Nacional de La Plata, 181 p.
- FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, J.; PÉREZ TABOADA, S.; COUREL, G.; ROMERO, E.R.; LEGGIO NEME, F.; CASEN, S.; SANCHEZ DUCCA, A. 2015. Evaluación de la nueva cosechadora de caña de azúcar John Deere CH330 "Cobra". *Revista Avance Agroindustrial*, EEAOC. (Disponible: <http://www.eeaoc.org.ar/upload/publicaciones/archivos/563/20151228133537000000.pdf> verificado: 03 de diciembre de 2017).
- FOGLIATA, F.A. 1995. *Agronomía de la caña de azúcar: tecnología, costos y producción* (N.º F01 FOG 17001). Ed. El Graduado.
- GIARRACCA, N.; BIDASECA, K.; MARIOTTI, D. 2001. Trabajo, migraciones e identidades en tránsito: los zafreros tucumanos en Argentina. En: GIARRACCA, N. (Coordinadora). *¿Una nueva ruralidad en América Latina?* Buenos Aires, Ed. EUDEBA-CLACSO, 307-337.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. 2002. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science*, 53(4), 589-598.
- HEMSY, V.; ZUCCARDI, R.B. 1967. Zonas para el cultivo del maíz en la provincia de Tucumán. *Miscelanea-Facultad de Agronomía y Zootecnia*. Universidad Nacional de Tucumán (Argentina). (1967). (N.º 18), 3-12.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INDEC). Censo Nacional Agropecuario 2002.
- JALDO ALVARO, M.; ORTIZ, J.; BIAGGI, C. 2016. La trayectoria socio-técnica de la mecanización de cosecha de caña de azúcar en Tucumán. ix Jornadas de Sociología de la UNLP 5 al 7 de diciembre de 2016 Ensenada, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología. (Disponible: <http://jornadassociologia.fahce.unlp.edu.ar/ix-jornadas/actas-2016/PONmesa28JaldoAlvaro.pdf/view?searchterm=None> verificado: 04 de diciembre de 2017).
- LEGENDRE, B.L. 2014. *Sugarcane Harvesting in Louisiana*. Audubon Sugar Institute. St. Gabriel, Louisiana. (Disponible: http://hcsugar.com/wp-content/uploads/2014/04/2014_HCS_Open_House_Sugarcane_Harvesting_in_Louisiana.pdf verificado: 05 de diciembre de 2017).
- MANTILLA, L. 2010. Los sistemas de corte mecanizados de caña de azúcar. *Equipos de cosecha*. *Revista Tecnicaña*, 26, 21 p.
- MURMIS, M.; WAISMAN, C. 1969. Monoproducción agroindustrial, crisis y clase obrera: la industria azucarera tucumana. *Revista Latinoamericana de Sociología*, 5(2), 349-350.
- MURMIS, M. 1998. Agro argentino: algunos problemas para su análisis. En: GIARRACA, N.; CLOQUELL, S. (Eds.). *Las agriculturas del Mercosur. El papel de los actores sociales*, 205-248.
- NORRIS, C. 2014. *Mechanised Sugarcane Production: Forgotten Lessons*. (Disponible: <http://www.assct.com.au/media/Mechanised%20Sugarcane%20Production%20Forgotten%20Lessons-web-part%201.pdf> verificado: 12 de diciembre de 2017).
- OLEA, I.; ROMERO, E.; SCANDALIARIS, J. 1993. Mecanización total de la cosecha de caña de azúcar en Tucumán. 30 años de historia. *Avance agroindustrial* (Argentina). (Mar, 13(52), 7-11.
- OSTENGO, S.; ESPINOSA, M.A.; DÍAZ, J.V.; CHAVANNE, E.R.; COSTILLA, D.D.; CUENYA, M.I. 2015. Relevamiento de la distribución de variedades y de otras tecnologías aplicadas en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán: Campaña 2013-2014. *Gac. Agroindustrial EEAOC* (78): 19.
- RIPOLI, T.; MIALHE, L. 1987. Colheita manual vs. colheita mecanizada da cana de açúcar. *STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, 5(3), 212.
- RIPOLI, M.; RIPOLI, T. 1995. Caracterização dos principais constituintes da biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). *Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo*, 4, 463.
- RODRIGUEZ, R.A.; SOPENA, R.A.; SALEME, P.M.; VICINI, L.E. 2010. Pérdidas de cosecha en caña de azúcar durante los años 2009 y 2010 en la provincia de Tucumán. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales*. Caña de azúcar, 1(1), 55-58.
- ROMERO, E.R.; DIGONZELLI, P.A.; SCANDALIARIS, J. 2009. *Manual del cañero*. Las Talitas: Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes. 232 p.
- SANTOCHI, E.; AGÜERO GÓMEZ, L.R.; BUSTOS, J.C.; ÁVILA, O.E.; SQUASSI, R.J. 2015. Costo de producción e indicadores de

resultados económicos de la producción de caña de azúcar en la Provincia de Tucumán, Argentina-Zafra 2015. *Revista agronómica del noroeste argentino*, 35(2), 59-72.

TESOURO, M.O.; ROBA, M.A.; FERNÁNDEZ DE ULLIVARRI, E.; DONATO DE COBO, L.B.; ROMITO, A.; VALLEJO, J.; D'AMICO, J.P. 2011. Avances en el estudio de la demanda energética de las labores en caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales. Caña de azúcar*, 1(1), 48-54.

TORT, M. 1982. La mecanización de la cosecha de caña de azúcar (Informe de beca de perfeccionamiento). CONICET.

VALEIRO, A.; ACRECHE, M. 2014. Mejora de la eficiencia energética a partir de residuos de caña de azúcar. En: PASCALE MEDINA, C.; ZUBILLAGA, M.; TABOADA, M. (Coord.). *Suelos, producción agropecuaria y cambio climático: avances en la Argentina*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

VICINI, L.E.; VICINI, C.L. 2010. Mecanización del cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) Con especial mención a la Provincia de Tucumán. Centro Regional Tucumán - Santiago del Estero, Estación Experimental Agropecuaria Famaillá. 27 p.