

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso. Rendimiento y resultado económico del cultivo de caña de azúcar bajo un sistema de manejo alternativo al tradicional.

Omar Tesouro¹/ Enrique Fernández de Ullivarri² / Leonardo Venturelli¹ / Marcos Roba¹ / Angel Romito¹

Instituto de Ingeniería Rural - CIA - CNIA

¹Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos

²EEA Famaillá (Tucumán)

Informe Técnico N° 38
Agosto 2021



Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Informe Técnico Nº 38
ISSN 1852-3080
Agosto 2021

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Rendimiento y resultado económico del cultivo de caña de azúcar bajo un sistema
de manejo alternativo al tradicional

Programa Nacional de Cultivos Industriales

Proyecto Integrador
Estrategias de manejo de sistemas productivos resilientes

Proyecto Específico
Optimización del ciclo de vida de los cultivos industriales

Módulo
Alternativas tecnológicas y optimización de los sistemas de manejo en cultivos
industriales.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Instituto de Ingeniería Rural

Editor responsable: Ing. Agr. Mario Omar Tesouro

Av. Pedro Díaz 1798
Hurlingham - Buenos Aires - Argentina
C.C. 25 B1712 JHB Castelar
Tel. 4621-1447/1448/1668

iir.cd@inta.gob.ar
www.inta.gob.ar/unidades/222000

ÍNDICE

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Materiales y Métodos	4
3. Resultados	7
4. Consideraciones Finales	14
5. Bibliografía	15

Cultivo de caña en Famaillá: Estudio de caso.
Rendimiento y resultado económico del cultivo de caña de azúcar bajo un sistema de
manejo alternativo al tradicional

RESUMEN

En la forma tradicional de manejo de la caña de azúcar utilizada en la Argentina se rotura intensamente toda la superficie donde se implantará el cultivo, demandando grandes aportes de energía. Además, en las posteriores tareas de mantenimiento, los entresurcos son laboreados en profundidad, reduciendo su capacidad portante y tornándolos más vulnerables al tránsito de equipos de cultivo, cosechadoras y camiones de gran peso. El uso continuo de este sistema durante prolongados períodos de monocultivo afectó la integridad física del suelo, comprometiendo el aprovechamiento eficiente de los insumos y los rendimientos.

Era necesario entonces generar una alternativa de manejo superadora a la tradicional a fin de revertir, detener o mitigar el deterioro del suelo y mejorar el resultado económico del cultivo. Se especuló que, una posible solución sería, aplicar la energía solamente donde pudiese ser aprovechada por las raíces del cultivo y mantener sin disturbar los sitios de tránsito a lo largo de todo el ciclo de la caña. Para poder implementar esta forma de manejo fue desarrollado y fabricado un escarificador experimental para labranza profunda en franjas.

Desde el año 2013 se lleva a cabo un ensayo en la EEA INTA Famaillá (Tucumán) comparando ambas tecnologías de cultivo. Los resultados preliminares indican que, durante la etapa de implantación de la caña, pueden reducirse entre un 60 y 70 % el consumo de combustible, el requerimiento energético y los tiempos y costos operativos con esta nueva alternativa de manejo. El margen bruto medio de las cinco cosechas realizadas, superó en aproximadamente un 15 % al obtenido con el manejo tradicional, debido al aumento en los rendimientos y a la menor cantidad de labores de mantenimiento requeridas por la nueva tecnología.

El nuevo sistema se presenta como una alternativa de manejo de menor complejidad operativa, económicamente rentable y de mayor sustentabilidad.

1. INTRODUCCIÓN

El manejo de la caña de azúcar en Argentina continúa realizándose en forma tradicional, a diferencia de lo que ocurre en la gran mayoría de los cultivos. La integridad física de los suelos se ha visto afectada por la elevada intensidad de laboreo y el tránsito de maquinaria pesada durante la cosecha, sumado a períodos prolongados de monocultivo (Pankhurst et al., 2003; Bell et al., 2007; Rodríguez and Valencia, 2012). El estado de degradación alcanzado ha alterado procesos básicos de este recurso generando una variedad de externalidades negativas.

Se ha observado que la reducción de la macroporosidad de los suelos tiene un efecto determinante en la dinámica del aire, del agua y de los nutrientes, incrementando la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (Picone et al., 2015; Estévez, 2016). Paralelamente, la reducción en la tasa de infiltración del suelo aumenta el riesgo de erosión hídrica y favorece las pérdidas de nutrientes por escurrimiento. Este contexto propicia una baja eficiencia en el uso de fertilizantes. Moreno Seceña et al. (2016) informan que en los últimos 15 años, la dosis de fertilización nitrogenada se incrementó en un 60% sin que hayan aumentado los rendimientos de caña por unidad de superficie.

El contenido de materia orgánica tiene una importancia decisiva en la conservación de las propiedades mecánicas favorables de los suelos. En aquellos de textura fina, predominantes en el área cañera cubana, ante una disminución del carbono fácilmente oxidable se tornan más susceptibles a ser dañados durante el laboreo y tienen menor capacidad de soportar las cargas superficiales aplicadas por acción del tránsito de la maquinaria (Villazón-Gómez et al., 2017). En Argentina se han medido en distintos establecimientos cañeros índices de cono mayores a 6 MPa a tan solo 10 cm de profundidad y esfuerzos específicos cercanos a 200 kPa, los cuales superan por más del doble a los de la pradera pampeana (Tesouro et al., 2011). Esto resulta en un incremento de la demanda de energía y del consumo de combustible de las labores involucradas en la implantación y el mantenimiento del cultivo de la caña de azúcar. Según Sopena y Terán (2008) la demanda de combustible promedio en el área cañera alcanza los 230 litros de gasoil por hectárea y por año.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente resulta un balance energético ineficiente de la producción de azúcar. El análisis de INTA de la industria del etanol evidencia que Argentina produce aproximadamente 3 unidades energéticas por unidad de energía consumida, mientras que en Brasil esta relación se aproxima a 8:1 (FMAM-5 PIF-INTA, 2018). Es oportuno mencionar que, además de la escasa eficiencia productiva, el rendimiento del cultivo presenta una tendencia decreciente en toda el área cañera a pesar de las mejoras genéticas y en los avances tecnológicos en el control de las plagas introducidas en los últimos años (Sopena, 2017).

Era necesario entonces generar una alternativa de manejo superadora a la tradicional a fin de revertir, detener o mitigar el deterioro del suelo y mejorar el resultado económico del cultivo. Debido a la falta de porosidad del suelo no podía prescindirse de la labranza, pero de continuar con la misma intensidad de laboreo se seguiría deteriorando el recurso y desperdiciando energía. Se especuló que, una posible solución sería, aplicar la energía solamente donde pudiese ser aprovechada por las raíces del cultivo y mantener sin disturbar los sitios de tránsito a lo largo de todo el ciclo de la caña. Para poder implementar esta forma de manejo fue desarrollado y fabricado un escarificador experimental para labranza profunda en franjas. Desde el año 2013, se lleva a cabo un ensayo en la EEA Famaillá (Tucumán) comparando ambas tecnologías de manejo.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados contrastados de ambas tecnologías de manejo respecto al consumo energético, rendimiento del cultivo y resultados económicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En un área con suelos argiudoles ácuicos de la EEA Famaillá (Tucumán, Argentina, 27° 0.0' 52.58" S; 65° 22' 46.78" O; 750 msnm), con un prolongado historial de monocultivo de caña de azúcar utilizando el manejo tradicional de la zona, comenzaron a probarse a partir del año 2013 dos sistemas de cultivo: 1) Manejo convencional; 2) Labranza en franjas sin remoción profunda del suelo en los sitios de tránsito (trocha). El área experimental presentaba, al inicio del ensayo, un rastrojo de un cultivo de soja implantado en 2011 sobre una cama de siembra roturada con rastra excéntrica y arado de cincel. En el caso del tratamiento 1 la preparación del suelo para la caña se realizó en forma convencional, con la

siguiente secuencia de labores: una pasada de rastra excéntrica, de 22 discos de 610 mm de diámetro sobre el rastrojo de soja, dos pasadas de subsolador con 4 arcos con alas de 100 mm separados a 0,80 m, una segunda labranza con la misma rastra excéntrica, surcado y plantación. A partir de este momento, fue conducido con el manejo tradicional de la zona, consistente en el control químico y mecánico de malezas, fertilización y laboreo profundo de los entresurcos (trochas) durante el ciclo del cultivo. En el tratamiento 2, para la implantación sólo se efectuó una labranza profunda en los sitios donde luego se conformaron los surcos para colocar la caña semilla. Esta técnica, conocida como labranza en franjas, se llevó a cabo utilizando una unidad de laboreo diseñada y desarrollada en el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos (IIR-CIA-CNIA-INTA). La unidad de laboreo posee cuatro arcos rígidos que trabajan conjuntamente estrechas secciones de suelo a profundidades crecientes, manteniendo sin disturbar el espacio entre ellas (entresurcos) desde el comienzo y durante todo el ciclo del cultivo, con excepción de la remoción superficial realizada durante el control mecánico de malezas y la fertilización que fueron hechas en una sola operación. En los dos sistemas de manejo (tratamientos) se emplearon iguales tipos y dosis de fitoterápicos y fertilizantes y se evitó la quema del rastrojo.



FIGURA 2.1: Vista trasera en posición de transporte del prototipo. Referencias: a: Bastidor; b: Timón; c: Púa (órgano activo); d: cuchilla de corte; e: Torre de acoplamiento.



FIGURA 2.2: Vista lateral en posición de trabajo.

Fue determinada la demanda de tracción de las labores realizadas en ambos tratamientos, tanto en la etapa de implantación como en la de cultivo, utilizando una celda

de carga electrónica de 5000 kg de capacidad intercalada entre el tractor y la máquina evaluada y un sistema electrónico de captación de datos. Se tomaron datos de esfuerzo a intervalos de un segundo y se registró el tiempo necesario para recorrer una trayectoria de longitud conocida, a fin de determinar la velocidad efectiva de avance del equipo y la potencia demandada al tractor en la barra de tiro. Con estos datos se calculó la energía requerida por hectárea para realizar cada labor. Posteriormente, la energía requerida por hectárea fue convertida a consumo de combustible en litros por hectárea, utilizando un modelo desarrollado en el laboratorio mencionado. Este modelo considera el tipo de tracción del tractor utilizado, su eficiencia tractiva y el rendimiento termodinámico del motor. El consumo obtenido en la unidad de tiempo fue transformado a una unidad de superficie (hectárea) según la capacidad de trabajo de cada máquina. En forma previa a la realización de estas mediciones fueron determinados la densidad aparente, la humedad gravimétrica, los perfiles de resistencia y el micro relieve del suelo.

En base a los resultados obtenidos en las mediciones de esfuerzos tractivos, fueron dimensionados los parques de maquinarias apropiados para establecimientos de mediana superficie con los sistemas de manejo convencional y en franjas, a fin de calcular y comparar sus costos operativos. La rotación prevista fue la de uso generalizado consistente en un cultivo de soja intercalado entre los ciclos de caña de 5 años de duración. En ambos tratamientos se consideró que la soja se implantaría de manera convencional y con idéntica secuencia de labores. Por su empleo generalizado y simplicidad en los cálculos, se asumió que la plantación y la cosecha mecánica de la caña serían realizadas por contratistas. El cálculo de los costos se realizó siguiendo la metodología convencional (Frank, 1995) considerando el valor a nuevo de mercado de las diferentes máquinas y en un estado de uso equivalente a la mitad de su vida útil.

La estimación del rendimiento anual de cada una de las parcelas, de 18 surcos distanciados entre sí a 1,60 m y de 50 m de largo aproximadamente, se efectuó midiendo el número y el peso de los tallos. Para contabilizar el número de tallos se eligieron al azar 6 surcos en cada parcela. En cada uno de ellos se marcó una distancia de cinco metros y se contó la totalidad de los tallos. Los datos fueron convertidos a tallos por metro de surco ($\text{tallos}\cdot\text{m}^{-1}$). El peso de los tallos fue determinado seleccionando 10 tallos representativos de cada sitio de muestreo. Los tallos fueron cortados, limpiados y pesados. Los datos fueron convertidos a peso por tallo ($\text{kg}\cdot\text{tallo}^{-1}$). El rendimiento de caña por hectárea se calculó

considerando 6000 metros lineales de surco por hectárea, la cantidad de tallos por metro de surco y el peso por tallo. Luego del muestreo las parcelas fueron cosechadas mecánicamente en forma convencional. La sumatoria de los rendimientos de caña planta (2014) y los de soca 1 a 4, obtenidos entre los años 2015 y 2018 fueron divididos por el número de años a fin de alcanzar el rendimiento medio ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) para el cálculo del margen bruto.

El margen bruto fue establecido considerando un ingreso bruto de 14,75 US\$·t⁻¹ de caña entregada al ingenio. De este ingreso fueron descontados los gastos de los servicios de implantación, cosecha y acarreo, los insumos utilizados durante la etapa de cultivo y los costos directos de la maquinaria.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos aleatorizados y tres repeticiones por tratamiento. El análisis estadístico de los resultados fue llevado a cabo mediante ANVA para un DBCA con submuestreo.

3. RESULTADOS

La realización del subsolado en la etapa de implantación del cultivo, es una actividad de uso generalizado en el sistema de manejo convencional. Si bien esta práctica tiene aspectos favorables, tales como contribuir a aminorar la resistencia mecánica subsuperficial del suelo y a provocar fisuras que favorecen la infiltración del agua y el desarrollo radical, reduce la capacidad portante del suelo y requiere niveles de potencia elevados para ser realizada. Con una humedad gravimétrica del suelo en el área experimental de 28,8% y una resistencia del perfil de 1759 kPa fue necesario utilizar un tractor de 118 kW para subsolar a una profundidad efectiva de 0,30 m, a velocidades efectivas de avance de 4,5 a 4,8 km·h⁻¹. Las demandas tractivas unitarias fueron de 1132 daN·arco⁻¹ y 882 daN·arco⁻¹ en la primera y segunda pasada respectivamente y en ambos casos, los esfuerzos específicos se mantuvieron en el orden de los 111 kPa. La sumatoria de la energía requerida por el subsolado y las rastreadas, necesaria para la preparación del suelo en el tratamiento 1, fue de 114 kWh·ha⁻¹, con un consumo de combustible de aproximadamente 61 L·ha⁻¹. En el tratamiento 2 se empleó un tractor de 59 kW para efectuar la labor con el escarificador a una velocidad efectiva de avance de 4,2 km·h⁻¹, demandando una fuerza de 1237 daN para roturar una sección de suelo (franja) de 0,50 m de ancho por 0,50 m de profundidad. El esfuerzo específico se redujo a 66 kPa, siendo casi la mitad del obtenido con el subsolador

utilizado en el tratamiento 1. Sólo se requirieron $14,5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ de combustible y $24 \text{ kWh}\cdot\text{ha}^{-1}$ de energía en la preparación del suelo para la plantación de la caña. La notable diferencia en la energía demandada entre tratamientos obedeció a tres causas principales, que en orden de importancia decreciente fueron: la roturación parcial del área donde va a ser implantado el cultivo, la reducción del número de labores y el aumento en la eficiencia de la labranza profunda, todas ellas correspondientes al tratamiento 2.

Además, en el tratamiento 2, se eliminó el laboreo profundo de los entresurcos de las tareas de cultivo efectuadas a lo largo del ciclo de la caña. Las razones principales de este cambio, respecto del manejo tradicional, fueron propender a la conservación del recurso suelo y obtener mejores condiciones de piso para el tránsito de la maquinaria. A consecuencia de lo anterior, también pudo ser descartado el primer laboreo de los entresurcos con discos, cuyo objetivo principal es reducir la cantidad de rastrojo evitando el atoramiento de los escarificadores (cincales o subsoladores) utilizados para la posterior labranza profunda de los entresurcos. Al no efectuar estas labores, se redujo la demanda energética en la etapa de cultivo en aproximadamente $32 \text{ kWh}\cdot\text{ha}^{-1}$ respecto del manejo convencional.

La diferente demanda energética de los tratamientos, durante las etapas de plantación y cultivo, fue de principal importancia en el cálculo de las necesidades de potencia y de unidades tractivas requeridas en ambos sistemas de manejo. En uno convencional, el parque de maquinaria para un establecimiento mediano que realice un ciclo de 5 años de caña intercalado con un año de soja, debería poseer al menos dos tractores para llevar a cabo las labores previstas dentro de los tiempos disponibles. La mejor alternativa encontrada fue contar con un tractor de potencia similar al utilizado en el ensayo de Famaillá para realizar los trabajos de labranza en la soja y en la caña, incluyendo el laboreo profundo de los entresurcos mientras que otro, de menor potencia, sería destinado principalmente a las tareas de cultivo. Con el manejo realizado en el tratamiento 2 un solo tractor fue suficiente, aunque se necesitó elevar la potencia a 66 kW para poder realizar las labranzas con arado de cincales en la preparación de la cama de siembra en el cultivo de soja.

En la tabla 3.1 se resumen la secuencia de labores y los principales resultados operativos de ambas alternativas. Obsérvese que en el caso de la soja sólo existen variaciones en los tiempos operativos de las labores de labranza debido a que los anchos de

labor fueron adaptados a las potencias de los tractores, pero se mantuvieron constantes el tipo de máquina y las condiciones de trabajo, en consonancia con los resultados obtenidos en Famaillá.

El costo de los parques de maquinaria es función de su uso anual. En la figura 3.1 se presenta el costo medio anual directo correspondiente a la caña en un rango de tamaños de establecimientos de 100 a 300 ha. Las diferencias entre tratamientos fluctuaron entre 50 y 100 US\$·ha⁻¹·año⁻¹. Los valores máximos se obtuvieron en establecimientos del orden de las 100 ha, que se corresponden con una franja de transición entre pequeños y medianos productores. Dentro de un rango de unidades productivas inferiores a 150 ha, puede estar manifestándose un excedente de potencia en el parque de maquinaria bajo manejo convencional.

Manejo convencional						Labranza en franjas					
Soja											
Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹	Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹
Descepado ⁽¹⁾		13,92	6,8	0,39	1	Descepado ⁽¹⁰⁾		13,92	6,8	1,16	1
Rastreada ⁽¹⁾		16,63	8,1	0,50	1	Rastreada ⁽¹⁰⁾		16,63	8,1	0,94	1
Cincelado ⁽²⁾	118 kW	32,52	17,8	0,60	1	Cincelado ⁽¹¹⁾		32,52	17,8	0,95	1
Cincelado ⁽²⁾		29,27	16,0	0,58	1	Cincelado ⁽¹¹⁾	66 kW	29,27	16,0	0,92	1
Rastreada ⁽¹⁾		23,73	11,6	0,39	1	Rastreada ⁽¹⁰⁾		23,73	11,6	0,73	1
Siembra ⁽³⁾		12,15	5,9	0,43	1	Siembra ⁽³⁾		12,15	5,9	0,43	1
Pulverización ⁽⁴⁾	59 kW	2,13	1,5	0,24	4	Pulverización ⁽⁴⁾		2,13	1,5	0,24	4
Cosecha		Contratista				Cosecha		Contratista			
Caña planta											
Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹	Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹
Rastreada ⁽¹⁾		15,98	9,6	0,42	1	Lab. Franjas ⁽¹²⁾	66 kW	23,96	14,5	1,67	1
Subsolado ⁽⁵⁾		44,14	21,5	0,81	1						
Subsolado ⁽⁵⁾	118 kW	34,36	18,3	0,76	1						
Rastreada ⁽¹⁾		19,32	11,3	0,42	1						
Plantación		Contratista				Plantación		Contratista			
Cultivo ⁽⁶⁾		8,65	6,0	1,16	2	Cultivo ⁽⁶⁾		10,81	6,8	1,16	1
Pulverización ⁽⁴⁾	59 kW	2,13	1,5	0,24	2	Pulverización ⁽⁴⁾	66 kW	2,13	1,5	0,24	2
Caña soca											
Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹	Labor	Tractor	Energía kWh·ha ⁻¹	C.C. L·ha ⁻¹	T.O. h·ha ⁻¹	Pasadas ha·ha ⁻¹
Cultivo ⁽⁷⁾	59 kW	9,73	6,4	0,73	1	Fertilización ⁽⁹⁾		12,16	7,0	1,09	1
Cultivo ⁽⁸⁾	118 kW	22,00	11,6	0,89	1	Pulverización ⁽⁴⁾	66 kW	2,13	1,5	0,24	2
Fertilización ⁽⁹⁾		11,19	6,8	1,09	1						
Pulverización ⁽⁴⁾	59 kW	2,13	1,5	0,24	2						
Cosecha		Contratista				Cosecha		Contratista			

TABLA 3.1: Conformación de equipos y resultados operativos de los parques mecanizados en los sistemas de manejo convencional y en franjas. Referencias: CC: consumo de combustible por hectárea; T.O: tiempo operativo; (1) rastra excéntrica 32 discos 24"; (2) arado de cincel 11 arcos a 0,28 m; (3) sembradora de grano grueso 7 cuerpos a 0,70 m; (4) pulverizadora 6,40 m de ancho de labor. (5) Subsolador 4 arcos a 0,80 m; Cultivo (6): bajada de bordos y control mecánico de malezas con equipo cultivador de 12 discos en cuatro paquetes más accesorio fertilizador (equipo triple); Cultivo (7): picado de la trocha con equipo triple; Cultivo (8): laboreo profundo de la trocha con cultivador de cinceles de 6 arcos; (9): equipo triple; (10): rastra excéntrica 22 discos 24"; (11): arado de cincel 7 arcos a 0,28 m; (12) prototipo para labranza en franjas.

El Índice de Mecanización (IM) relaciona potencia y superficie, permitiendo alcanzar una primera aproximación acerca del sobre o subdimensionamiento del parque de maquinaria para un cierto esquema productivo. En el caso del rango mencionado, los IM fluctúan entre 1,77 y 1,18 kW·ha⁻¹ con el manejo tradicional y parecen excesivos para la rotación caña soja. En este estado de situación pueden ser evaluadas distintas estrategias tendientes a reducir costos. Algunas de ellas serían: aprovechar la capacidad ociosa de los equipos para brindar servicios a terceros; eliminar el subsolado con equipo propio contratando esta labor, lo que permitiría disminuir la potencia del tractor principal adecuando a ésta los anchos de trabajo del resto de las máquinas de labranza o también, eliminar el tractor principal y contratar todas las labranzas. Al evaluar la conveniencia de reemplazar maquinaria propia por servicios, debe considerarse también, la influencia de la oportunidad y la calidad de labor en el resultado económico de la empresa. Las dos últimas estrategias mencionadas son de aplicación generalizada entre los pequeños productores y frecuentemente, no constituyen en rigor, una opción. Con el manejo alternativo, no sería necesario plantear estas alternativas ya que el IM alcanza a 0,66 kW·ha⁻¹ en el establecimiento de 100 ha y pueden ser realizadas todas las labores con equipo propio a bajo costo.

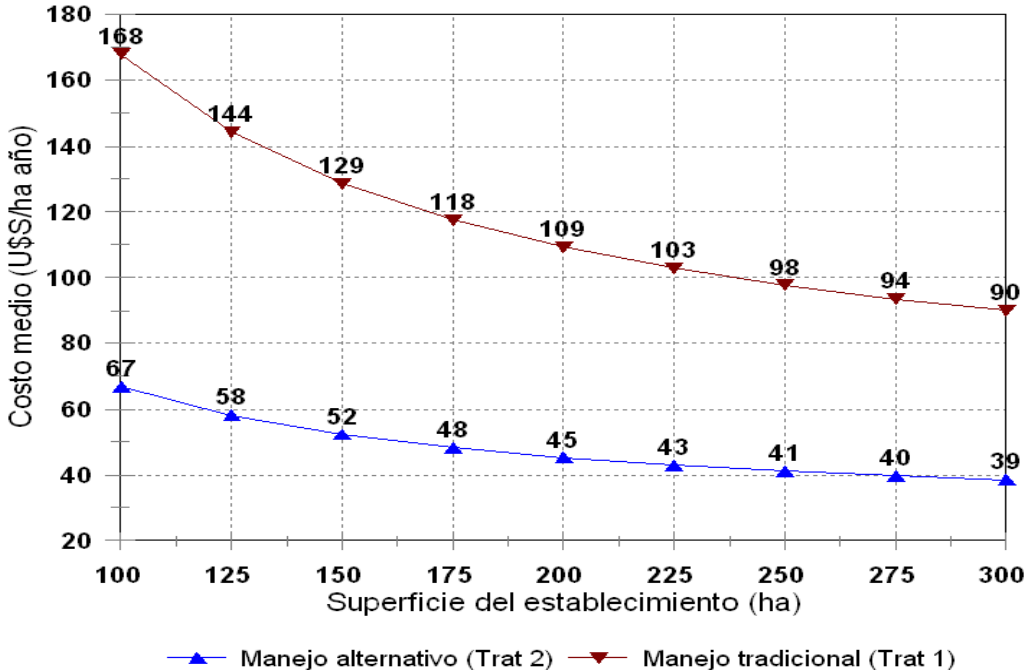


FIGURA 3.1: Costo medio anual directo de la maquinaria correspondiente a la caña para distintos tamaños de establecimientos.

La notable diferencia con el IM del manejo convencional, que existe para todo tamaño de establecimiento, da una pauta del incremento en la eficiencia de la mecanización. Otro indicio surge al comparar los resultados obtenidos entre ambos tratamientos en similares valores de IM, con lo cual se igualan las potencias por hectárea. La equiparación del IM de $0,66 \text{ kW}\cdot\text{ha}^{-1}$ del alternativo (100 ha) se alcanza cuando el tamaño del establecimiento en el manejo convencional se aproxima a 275 ha ($0,64 \text{ kW}\cdot\text{ha}^{-1}$). El costo medio anual sigue siendo mayor en el manejo convencional, aunque las diferencias se redujeron a $27 \text{ U}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Pero además del costo, deben ser considerados los tiempos operativos y la superficie anual trabajada que pueden ser calculados con la información de la tabla 1. Bajo manejo convencional en un establecimiento de 275 ha se laborean anualmente 1650 ha con un uso anual de la maquinaria de 971 h, 351 h le corresponden al tractor de 118 kW y 620 h al de 59 kW. De acuerdo con el cronograma de labores el 65% del uso anual del segundo tractor, equivalente a 403 h, debe realizarse entre la segunda quincena de agosto y fines de octubre. Inversamente a lo mencionado al tratar el rango de 100 a 150 ha bajo manejo convencional, este IM de $0,64 \text{ kW}\cdot\text{ha}^{-1}$ se presenta ahora como escaso ya que posiblemente, no puedan realizarse las labores previstas en los tiempos disponibles. Con el manejo alternativo, en un establecimiento de 275 ha se laborean anualmente 1100 ha, lo cual implica una reducción de $1/3$ en la superficie trabajada. El uso anual del tractor es de 648 h y manteniendo el mismo cronograma de labores, le corresponde al período crítico mencionado anteriormente un 48 % del tiempo total, equivalente a 311 h. La diferencia entre ambos sistemas de manejo representa 9 jornadas de 10 h de trabajo.

En el período 2014 (caña planta) a 2018 (soca 4) se cosecharon $424,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el tratamiento 1 y $431,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ en el tratamiento 2, lo cual resulta en rendimientos medios de $84,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el manejo convencional y $86,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para el alternativo, sin que existan diferencias significativas entre ellos. En el mismo orden, el ingreso bruto fue de $1250,8 \text{ US}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $1272,6 \text{ US}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Los insumos y servicios utilizados para la plantación y el mantenimiento de la caña fueron idénticos en ambos tratamientos, alcanzando un valor medio de $183,3 \text{ US}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. El costo de cosecha y acarreo fue de 461,3 y de 469,4 $\text{US}\$\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para los tratamientos 1 y 2 respectivamente. En la figura 3.2 se presentan los márgenes brutos y el ingreso diferencial anual obtenido con el manejo alternativo.

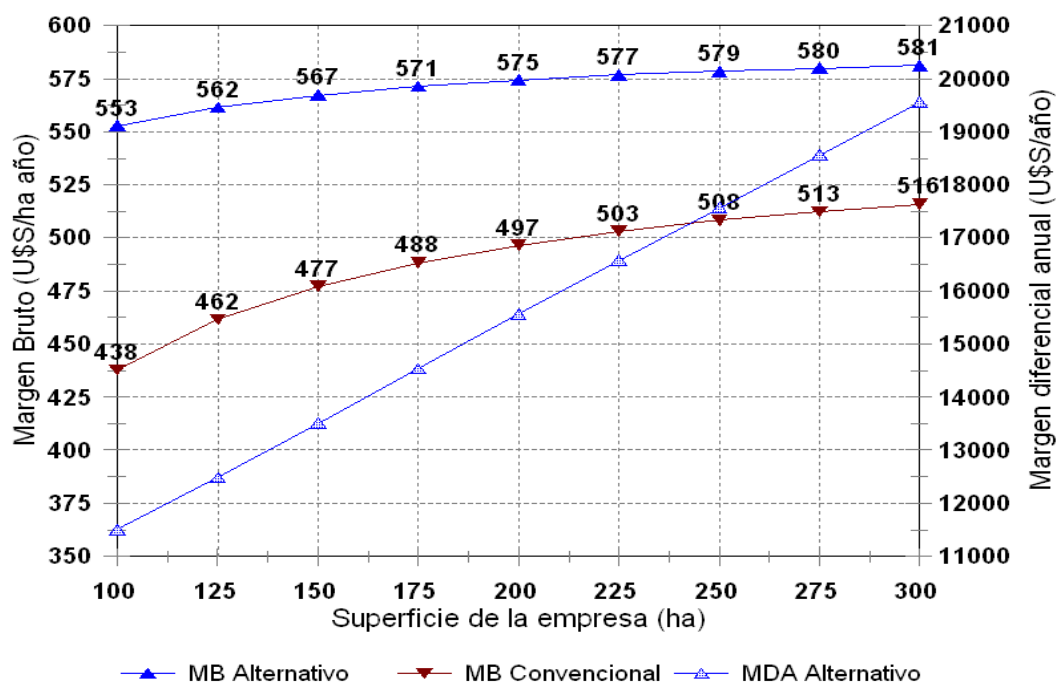


FIGURA 3.2: Resultado económico de los sistemas de manejo. Referencias: MB Alternativo: margen bruto del sistema de manejo alternativo (tratamiento 2); MB Convencional: margen bruto del sistema de manejo convencional (tratamiento 1). MDA Alternativo: margen diferencial alternativo: incremento en el ingreso anual del establecimiento por el manejo alternativo.

4. CONSIDERACIONES FINALES

El sistema de manejo alternativo posibilita un sustancial ahorro de energía con la consecuente reducción de los costos operativos, manteniendo elevados rendimientos del cultivo y superando la rentabilidad obtenida con el sistema tradicional.

La demanda de potencia de la unidad de laboreo para labranza en franjas hace técnica y económicamente factible la adopción de esta tecnología en una gran variedad de tamaños de establecimientos, incluyendo a los pequeños productores.

5. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, C.R., M. Torres Duggan, E.R. Chamorro, D. D'Ambrosio y M.A. Taboada. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del suelo* Vol. 27 N° 2 (159-169). C.A.B.A ago/dic. 2009. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar>

Bell, M.J., G.R. Stirling and C.E. Pankhurst. 2007. Management impacts on health of soils supporting Australian grain and sugarcane industries. *Soil & Till. Res.* 97: 256–271.

Estévez, A.A. 2016. Tras la huella de carbono de la agroindustria. Carta Informativa. Publicación CENICAÑA. Año 4 N°1 – Abril 2016 (10-11). ISSN-2339-3246. Cali-Colombia.

FMAM-PIF-PNUD-INTA. 2018. Mejora del desempeño energético de la cadena productiva de la caña de azúcar y el bioetanol en el Noroeste Argentino. 17 pp.

Frank, R. 1995. Introducción al cálculo de costos agropecuarios. Editorial “El Ateneo”. 6ª Edición. Buenos Aires. 58 pp.

Moreno-Seceña, J.C., C. Landeros-Sánchez, A. Pérez Vázquez, O.L. Palacios-Vélez, M. del R. Castañeda Chávez y C.J. López Collado. 2016. Manejo y actitud del productor sobre la fertilización nitrogenada en caña de azúcar: un estudio de caso. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable-RINDERESU* vol. 1 (1): 26-34 (2016)

Pankhurst, C.E., R. Magarey, G.R. Stirling, B.L. Blair, M.J. Bell and A.L. Garside. 2003. Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland, Australia. *Soil & Tillage Research* 72:125-137.

Picone, L.I., C.L. Picaud y C. del C. Videla. 2015. Emisiones de gases de efecto invernadero desde el suelo en el cultivo de maíz, en Argentina. Cap. 12. Eje Temático 2: El suelo, la producción agropecuaria y las emisiones de gases de efecto invernadero. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

Rodríguez, L.A y J.J. Valencia. 2012. Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e*

Ambiental-Agriambi, 16 (10). Disponible en línea en:
<http://www.agriambi.com.br/revista/v16n10/v16n10a14.pdf>

Sopena, R.A. 2017. Director EEA Famaillá (Tucumán). Comunicación personal

Sopena, R.A. y C.S. Terán. 2008. Relevamiento sobre el consumo de gas-oil en el cultivo de caña de azúcar en el país. Grupo Caña de Azúcar. EEA INTA FAMAILLA, Tucumán.

Tesouro, M.O., M. Roba, E. Fernández de Ullivarri, L.B. Donato, Á. Romito, J. Vallejo y J.P. D'Amico. 2011. Avances en el estudio de la demanda energética de las labores en caña de azúcar. Revista de Cultivos Industriales. Ciencia y Tecnología de los Cultivos Industriales. 2011- Año I. Nº 1: 48-55. ISSN: 1853-7677.

Villazón-Gómez, J.A., M. Morales Menéndez, G.M. Gutiérrez y Y. Cobo Vidal. 2017. Efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un Vertisol. Revista Ciencias Técnicas Agropec, ISSN -1010-2760, E-ISSN: 2071-0054, Vol. 26. Nº 2 (April-May-June 2017, pp. 31-37).

La presente publicación integra una serie de Informes Técnicos editada por el Laboratorio de Terramecánica e Implantación de Cultivos del Instituto de Ingeniería Rural. Estos informes tienen como finalidad poner a disposición de los profesionales oficiales y privados, la información generada en los trabajos de investigación llevados a cabo por el mismo.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina