



TECNOLOGÍA DE MECANIZACIÓN AGROPECUARIA

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación en condiciones de laboratorio de la calidad de labor de la maqueta experimental del C-101XV en la preparación de suelo ferralítico rojo compactado

Evaluation the work quality under conditions of laboratory of the experimental scale model of the C-101XV in the soil preparation Rhodic Ferrasol

Calixto Domínguez Vento¹, Roberto Albóniga Gil², Ciro Iglesias Coronel³ y Astrid Fernández de Castro Fabre⁴

RESUMEN. El laboreo en franjas, es de las variantes conservacionistas de preparación de suelo que mejores resultados ofrece en la caña de azúcar. Siendo el objetivo del este trabajo evaluar la calidad de labor en condiciones de laboratorio del C-101XV en la preparación de suelo Ferralítico rojo compactado. Los resultados obtenidos indican deficiencias en la calidad de labor porque solo el 31,52% de los agregados son apropiados para el cultivo, predominando los inferiores a 10 mm en un 46,48% y el área media labrada (0,119 m²) es similar al límite inferior reportado en que la caña de azúcar se desarrolla sin dificultad de 0,115 m². Por otro lado, la geometría del surco obtenido no garantiza las exigencias agrotécnicas para la siembra de la caña de azúcar.

Palabras clave: laboreo en franjas, implemento, exigencias agrotécnicas

ABSTRACT. The stripe tillage is of the conservationist variants of soil preparation that better results offer in the cane of sugar. It is the objective of this work to evaluate the work quality under conditions of laboratory of C-101XV in the soil preparation Rhodic Ferrasol. The obtained results indicate deficiencies in the work quality because alone 31,52% of the clods is appropriate for the cultivation, prevailing the inferior to 10 mm in 46,48% and the worked area (0,119 m²) is similar to the inferior limit required by the cane of sugar (0,115 m²). On the other hand, the geometry of the obtained furrow not guaranteeing the agrotechnical demands of the cane of sugar.

Keywords: stripe tillage, implement, agrotechnical demands

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar ha sido históricamente el cultivo de mayor importancia económica para Cuba, pero en la actualidad los rendimientos no sobrepasan las 30 t/ha como promedio, resultado entre otros factores, de la degradación de los suelos.

La solución global a este problema conduce hacia la agri-

cultura de conservación, promovida por todo el mundo en países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Australia y Canadá, etc. Una de las prácticas de agricultura de conservación que ofrece buenos resultados en este cultivo es el laboreo en franjas. En nuestro país a partir de la década del 90 se obtuvieron buenos resultados en la preparación de suelo, en la hilera donde se ubicaba la plantación anterior (Córdoba *et al.*, 1997;

Recibido 25/01/11, aprobado 20/07/12, trabajo 12/12.

¹ M.Sc., Aspirante a Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Pinar del Río, Cuba, e-mail: secaseguramiento@tel.co.cu

² Ing., Investigador Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, Cuba.

³ Dr.C., Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, Cuba.

⁴ M.Sc., Investigador Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, Cuba.

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Pupo *et al.*, 2004; Gómez *et al.*, 1997; Leyva *et al.*, 2007]. Con este propósito es usado el escarificador C-101 de producción nacional, implemento que mediante dos órganos escarificadores con cuchillas laterales, dispuestos detrás de un disco corta pajas, realiza el corte horizontal del suelo escalonadamente, y con un surcador colocado en posición de trabajo en el segundo pase construye el surco; pero no cumple las exigencias agrotécnicas de la caña de azúcar para la siembra. Con la intención de mejorar el trabajo del C-101 se desarrolló el C-101XV que no paso de la fase experimental por cuestiones inherentes a su diseño y calidad de labor. No obstante obedece a principios de trabajos muy beneficiosos en los que resulta conveniente realizar nuevas investigaciones, con el objetivo de garantizar dichas exigencias, tomando como referencia estos implementos.

En la evaluación de la calidad de trabajo de los implementos agrícolas, para disminuir el número de experimentos, resulta conveniente controlar parámetros como la velocidad de trabajo, la humedad y compactación del suelo; lo que es imposible de lograr en investigaciones de campo,

por lo que actualmente se dispone de herramientas como los canales de suelos que resuelven estos problemas y basados en la Teoría de la Semejanza y el dimensionamiento, permiten realizar investigaciones a escala reducida, disminuyendo el costo de investigación. Es el objetivo de este trabajo evaluar la calidad de labor en condiciones de laboratorio del C-101XV en la preparación de suelo Ferralítico rojo compactado, con el fin de identificar posibles insuficiencias para el cumplimiento de las exigencias agrotécnicas para la siembra de la caña de azúcar.

MÉTODOS

Las investigación experimental se realizó en el Laboratorio Canal de Suelo del Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), utilizando una maqueta experimental del C-101XV a escala 1:2, con cuatro órganos escarificadores consecutivos, variando su profundidad de trabajo escalonadamente (Figura 1), sus principales parámetros constructivos se exponen en la Tabla 1.

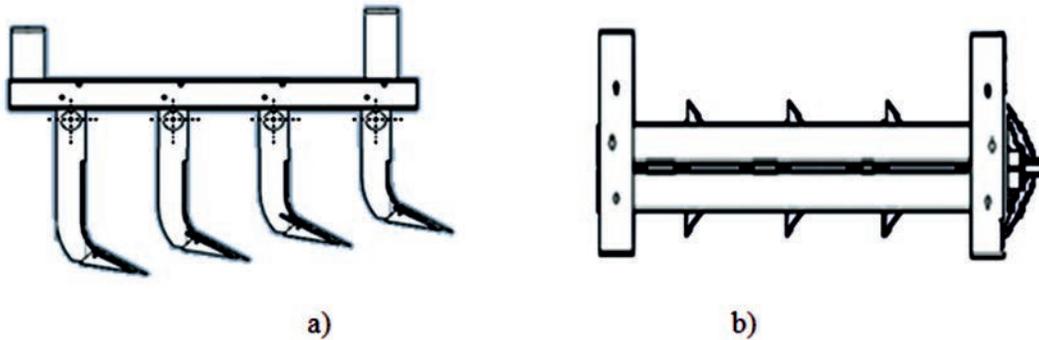


FIGURA 1. Esquema de la maqueta experimental: a) vista lateral; b) vista superior.

A partir de dicha maqueta se realizaron cuatro experimentos para el laboreo en franjas en condiciones de laboratorio, las principales características físicas del suelo utilizado (Ferralítico rojo compactado) se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Características físicas del suelo estudiado (González *et al.*, 2008)

Límites de consistencia, %			Granulometría, %			MO, %
LL	LP	IP	Arena	Limo	Arcilla	
61,1	30,7	30,4	19	43	38	3,01

Nota: LL: Límite líquido; LP: Límite plástico; IP: índice de plasticidad; MO: cantidad de materia orgánica en el suelo.

Factores de escala utilizados

Escala de longitud:

$$\lambda_{(l)} = \frac{l_p}{l_m} \quad (1)$$

donde:

$\lambda_{(l)}$ - factor de escala de longitud;

l_p - longitud del prototipo;

l_m - longitud del modelo.

Escala del área:

$$\lambda_A = \lambda_{(l)}^2 \quad (2)$$

Donde: λ_A - factor de escala del área.

Escala de velocidad:

$$\lambda_{(v)} = \lambda_a \sqrt{\frac{\lambda_{(l)}}{\lambda_a}} = \sqrt{\lambda_{(l)} \lambda_{(g)}} \quad (3)$$

donde:

El factor de escala de la gravedad $\lambda_{(g)}$ ($\lambda_{(g)}$) se toma igual a la unidad.

La velocidad del modelo se puede determinar como:

$$V_m = \frac{V_p}{\lambda_{(v)}} = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda_{(l)} \lambda_{(g)}}} \quad (4)$$

Metodologías utilizadas para la preparación de las condiciones experimentales

Previo a cada experimento el suelo es mullido a una profundidad de 15 cm, posteriormente nivelado, humedecido y compactado por capas, la primera a 17 cm que permanece invariable simulando el piso de aradura, la segunda a 7,5 y la tercera al nivel de la superficie. En el proceso se toma como referencia los valores de compactación en que se realiza la labranza comúnmente en este tipo de suelo (Albóniga, 2007 y Pérez, 2009) y la humedad en tempero.

Metodología para obtener la humedad. El suelo se humedece a razón 5...10 L/m², utilizando una regadera con capacidad para 5 L. El valor de esta, se conserva tapando el canal con una manta de nilón, la que además permite compactar al instante; de estar fuera del rango deseado se retira la manta ó se le suministra agua. La humedad del suelo es medida en porciento de humedad volumétrica en seis puntos escogidos al azar a lo largo de una de las diagonales mayores del canal, utilizando el método de Reflectometría de Dominio Magnético de Tiempo, logrando una exactitud superior al 97%.

Metodología para obtener la compactación. Después de depositado, nivelado y humedecido el suelo, se aplican pases de rodillo y lastrado con masas calibradas, realizando mediciones consecutivas de resistencia a la penetración en seis puntos escogidos al azar a lo largo de una de las diagonales mayores del canal, usando el Penetrómetro digital FIELDS-COUT Modelo: SC 900 SN: 328, con una apreciación de ± 1,25 cm y ± 0,103 MPa.

Metodología para obtener la velocidad de trabajo. Se utilizó una transmisión por cadena, la cual permite realizar

las variaciones necesarias, expresión (5). La velocidad real se determinó mediante un sensor inductivo colocado en una de las ruedas del vehículo porta implemento.

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{5}$$

donde:

- Z₁ - número de dientes del piñón motriz;
- Z₂ - número de dientes del piñón conducido;
- n₂ - velocidad angular en el piñón de salida;
- n₁ - velocidad angular del piñón motriz.

Metodologías utilizadas para la evaluación de la calidad de la labor

Se realizó considerando: el porciento de agregados del suelo resultante de la labor y el área labrada:

Mullición del suelo. Para clasificar las dimensiones de los agregados del suelo ya labrado se aplicó el método de separación de las fracciones según el diámetro de las partículas, mediante un proceso de tamizado, con el pesaje correspondiente. En cada experimento se tomaron cuatro muestras de suelo escogidas al azar, en tramos de 15 cm a lo largo de la franja labrada y una profundidad igual a la capa mullida.

Perfil de suelo labrado. Se determinó antes y después de la labor en cuatro puntos escogidos al azar, utilizando un perfilometro y regla calibrada de apreciación ± 1 cm y ± 0,1 mm respectivamente. Para determinar el área labrada se utilizó el cálculo de la integral definida, empleando el método de integración aproximada, por la expresión de las parábolas de Simpson, expresión 6, cuando n es para:

$$\int_a^b y \, dx \approx \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + 4y_3 + \dots + 2y_{n-2} + 4y_{n-1} + y_n), m^2 \tag{6}$$

donde:

$$h = \frac{b-a}{n}, m \tag{7}$$

(a=x₀); (b=x₀); siendo x el ancho de trabajo, m;

n - es el número de intervalos de integración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las investigaciones experimentales se ejecutaron según la Tabla 3, teniendo en cuenta los valores reportados en la bibliografía consultada.

TABLA 3. Descripción de las variantes estructurales resultantes de la preparación de las investigaciones experimentales

No. experimento	Variantes			
	Humedad, %	Compactación, MPa	Velocidad, m/s	Profundidad máxima, m
I	25,71	3,49	1,52	0,15
II	33,14	2,67	1,52	0,15
III	24,68	2,32	1,32	0,15
IV	28,55	3,86	1,32	0,15

Nota: Solo se refleja la compactación obtenida a la máxima profundidad, donde se refleja el mayor valor, similar al comportamiento de los suelos agrícolas dedicados a caña de azúcar.

Granulometría del suelo

Para garantizar un buen desarrollo de la caña de azúcar, como resultado de la labranza se deben obtener en proporción satisfactoria (70%) agregados entre 10...50 mm, teniendo en cuenta que los mayores de 50 mm son inapropiados para la siembra de la caña de azúcar y los menores de 10 mm son peligrosamente erosivos, y propician la compactación. Aunque en la actualidad se prefiere obtener agregados grandes.

En la Tabla 4 se muestra el comportamiento de la mullición del suelo resultante en cada experimento por rango evaluado, a escala reducida y transformado a escala real. Como se puede apreciar no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los experimentos, con una confianza del 95%; sin embargo se aprecian diferencias significativas entre

los rangos R1, R2 y R3 con respecto a R4; comportamiento lógico teniendo en cuenta que en todos los casos el suelo estuvo en tempero. Considerando la proporción de los agregados, el resultado obtenido es desfavorable, porque solo el 31,52% de los agregados del suelo son apropiados y el 46,48% poseen diámetro inferior a 10 mm, lo que favorece la degradación del suelo.

Por otra lado los agregados mayores de 40 mm representan el 22,27%, resultado favorable y similar al reportado por Betancourt *et al.* (2007a), al evaluar en un suelo arcilloso pesado como variantes de laboreo mínimo: C-101 más tres pases de grada, resultando el 23,10% de los agregaos mayores de 50 mm; y aplicando descorone con grada más C-101, más dos pase de grada obtuvo un 20,25%.

TABLA 4. Comportamiento de la mullición del suelo por variantes con el C-101XV a escala reducida y transformado a escala real

Rangos de partículas evaluados, mm	Mullición lograda por experimento, %				
	I	II	III	IV	Media
R1(>40)	9,53	11,45	11,10	12,46	11,14
R2(20...40)	7,09	9,17	7,09	9,04	8,10
R3(10...20)	7,51	7,35	7,51	7,75	7,53
R4(<10)	74,21	72,23	73,20	71,06	72,67
Transformado a escala real					
	I	II	III	IV	Media
R1(>40)	19,06	22,90	22,20	24,92	22,27
R2(20...40)	14,18	18,34	14,18	18,08	16,19
R3(10...20)	15,02	14,70	15,02	15,50	15,06
R4(<10)	51,74	44,06	48,60	41,50	46,48
E. S.			±2,95		
C. V., %			52,89		
Significación			p>0,05		

Área labrada

En la Tabla 5 se refleja el valor medio del área labrada por el C-101XV en las diferentes condiciones experimentales, a escala reducida y transformado a escala real. Como se observa no existen diferencias estadísticas significativas entre los experimentos con un 95% de confianza.

El valor medio obtenido de 0,119 m² es inferior al reportado por otros autores en estudios similares: García de la Figal y Yero, (2007) para el Multiarado M-170 con alas obtuvieron 0,42 m² y sin estas 0,27 m², así como con un escarificador vibratorio de alas cortas 0,25 m². Pero sí se tiene en cuenta que Leyva, (1989) plantea que con una superficie descompactada de 0,115 m² la caña de azúcar se desarrolla sin dificultad, este resultado se puede aceptar. No obstante, todos los experimentos se ejecutaron en tempero, por lo que de realizarse labores en valores de humedad fuera de este rango el área obtenida puede no garantizar el desarrollo adecuado del sistema radicular de la caña de azúcar.

TABLA 5. Área de suelo labrado por el C-101XV a escala reducida y transformado a escala real

Parámetro	Área labrada por experimento, m ²				
	I	II	III	IV	Media
Área labrada	0,0296	0,0302	0,0298	0,0294	0,0297
Transformado a escala real					
	I	II	III	IV	Media
Área labrada	0,118	0,121	0,119	0,118	0,119
E. S.			±0,001		
C. V., %			2,33		
Significación			p>0,05		

En la preparación de suelo en franja es importante que exista similitud entre el perfil del surco obtenido y la geometría del surcador utilizado; sin embargo en la Figura 2 se observa que esto no ocurre con el C-101XV, lo que conlleva a gastar energía innecesariamente, teniendo en cuenta que para mantener la profundidad de trabajo el surcador estará obligado a fragmentar una porción de suelo que no ha sido labrada y no está diseñado para ello, dificultándose la calidad de trabajo. Criterio similar reporta Albóniga, (2007). Estas desventajas del C-101XV de modo general limitan su uso en la preparación de suelo en franja para la caña de azúcar y lo ponen en desventaja con otros implementos utilizados con fines similares.

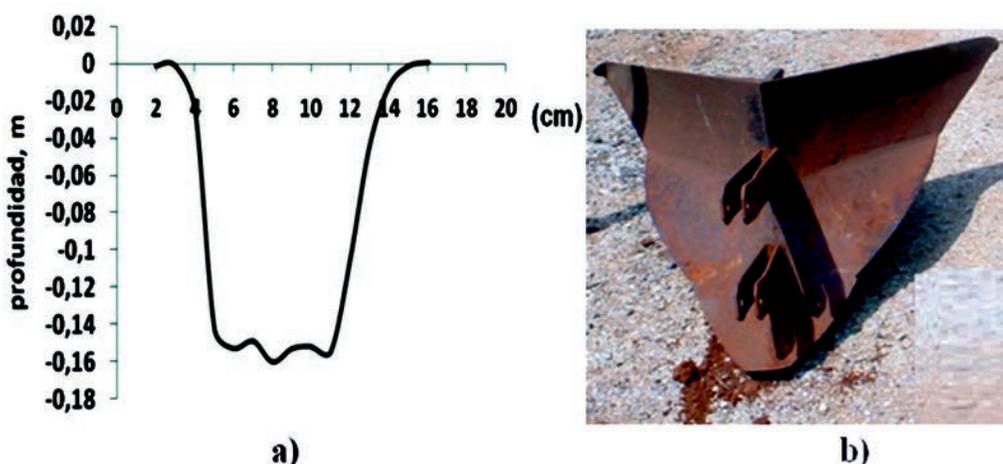


FIGURA 2. a) Perfil de suelo labrado por el C-101XV a escala 1:2; b) surcador utilizado en el país para la siembra de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

- Solo el 31,52% de los agregados obtenidos con el C-101XV son apropiados para el cultivo, predominando las partículas inferiores a 10 mm en un 46,48%;
- El área labrada por el C-101XV es de 0,119 m² similar al valor mínimo reportado en que la caña de azúcar se desarrolla sin dificultad (0,115 m²), pero al someterlo a condiciones de trabajo fuera de tempero puede no garantizar la calidad de la labor;

- La geometría del perfil de suelo labrado no coincide con la del surcador utilizado, lo que dificultará la calidad final del trabajo;
- Aunque el C-101XV satisface algunos parámetros exigidos para la siembra de la caña de azúcar, se considera inapropiado para la preparación de suelo en franja en solo dos pasadas, porque favorece la degradación del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBÓNIGA, R.: *Diseño de una herramienta de múltiples escalones para implementos agrícolas. Informe de evaluación energética en caña de azúcar. Condiciones naturales*. Proyecto de investigación, CICMA-SIME, septiembre, La Habana, 2007.
- BETANCOURT, Y.; M. RODRÍGUEZ; A. GUTIÉRREZ; E. VELARDE e I. GARCÍA: "Evaluación del mullido y el perfil descompactado de diferentes tecnologías de laboreo mínimo en suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1): 70-73, 2007a.
- CÓRDOBA, R.; E. VELARDE, A. GÓMEZ y M. LEYVA: *Tecnología Mecanizada para el Laboreo Localizado*, Informe de proyecto del INICA, La Habana, 1997.
- GARCÍA DE LA FIGAL, C. A. y A. YERO: "Comparación del gasto específico de combustible de los órganos de trabajo del "Multiarado" y el escarificador de cincel", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(2): 18- 22, 2007.
- GÓMEZ, A.; E. VELARDE y R. CÓRDOBA: "Nuevas soluciones para la preparación de suelos en Cuba", *Cuba & caña*, 2(3): 31-36, septiembre-diciembre, 1997.
- GONZÁLEZ, O., C. IGLESIAS, M. HERRERA, E. LÓPEZ y A. SÁNCHEZ: "Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferrasol", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 50-54, 2008.
- LEYVA, O.; L. PARRA; I. REYES y A. FRANDÍN: "Determinación de la composición más idónea para una máquina compleja de preparación abreviada de suelo y cultivo en caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2(2), 73-84, 1989.
- LEYVA, S. O.; P. PANEQUE; Y. VIDAL; L. R. PARRA y A. ORTIZ: "Efecto de seis tecnologías de laboreo de conservación sobre un suelo aluvial", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1): 77- 80, 2007.
- PÉREZ, J.: *Influencia de los medios que intervienen en la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en la compactación de los suelos ferralíticos rojos compactados. Estudio de caso: CPA Amistad Cuba-Nicaragua, Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Mecanizador Agropecuario)*, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), La Habana, Cuba, 2009.
- PUPO, L. E.; V.M. TEJEDA, L. RODRÍGUEZ Y E. SAO: *El laboreo localizado con el C-101*, informe de los resultados técnico-económicos obtenidos en la aplicación entre el periodo 1999-2001 en la provincia Las Tunas, Cuba, 2004.