

Evaluación en condiciones de laboratorio de la calidad de labor de cuatro órganos escarificadores colocados de forma escalonada con ancho de trabajo decreciente

Evaluation in laboratory conditions of the labor quality of four scarifiers placed in a series of steps with width of decreasing work

M.Sc. Calixto Domínguez Vento¹, Dr.C. Roberto Amado Albóniga Gil^{II}, Dr.C. Ciro Enrique Iglesias Coronel^{II}

¹ Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Pinar del Río, Cuba.

^{II} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria-(CEMA), San José de las Lajas, Cuba.

RESUMEN. El trabajo evalúa la calidad de labor de cuatro órganos escarificadores colocados de forma escalonada con ancho decreciente, trabajando en condiciones de laboratorio en suelo Ferralítico rojo compactado. Para lo cual se diseñó una maqueta experimental del C-101XV a escala 1:2, aplicando la teoría de la Semejanza y el Dimensionamiento; en la que se disminuye el ancho de trabajo de las cuchillas laterales en función de la profundidad. Los resultados obtenidos indican que el 70% de los agregados resultantes son de diámetro inferior a 40 mm y solo el 13,47% tienen diámetro menor a 10 mm, obteniéndose como promedio más de un 56,88% de agregados con tamaño apropiado para la siembra de la caña de azúcar entre 10...40 mm. Por otro lado se obtiene un área labrada de 0,163 m², lográndose un perfil de suelo labrado similar al recomendado en los instructivos técnicos. Dichos resultados permiten el diseño y construcción de un prototipo experimental para la preparación del suelo en franjas para la siembra de la caña de azúcar.

Palabras clave: laboreo en franjas, agregados, área labrada.

ABSTRACT. This work evaluates the labor quality of four scarifiers placed in a series of steps with decreasing width, working under laboratory conditions in Rhodic Ferrasol soil. In order to do this, an experimental model of C-101XV to a 1:2 scale was designed, using the theory of the Dimensional Analysis and Similitude; in which the width of work of the lateral coulters is diminished according to depth. The obtained results indicate that 70% of the originated clods are inferior to 40 mm in diameter and just a 13,47% has a diameter smaller than 10 mm, obtaining an average of more than 56,88% of clods with appropriate size to plant sugarcane between 10 and 40 mm. On the other hand, a worked area of 0,163 m² is obtained and a profile of tillage similar to the recommended in the technical instructions is achieved. These results allow to design and construct an experimental prototype for the preparation of the stripe tillage for planting sugarcane.

Keywords: stripe tillage, clods, worked area.

INTRODUCCIÓN

En Cuba a partir de los años 90 del siglo pasado comenzaron a investigarse tecnologías de laboreo mínimo para la siembra de la caña de azúcar, tales como las de Pupo *et al.* (2004); Gómez *et al.* (1997); Leyva *et al.* (2007); Betancourt *et al.*, (2007), preparando únicamente la hilera donde se ubicaba la plantación anterior, con la intención de reducir el proceso de labranza a dos labores. Con este propósito se

utilizó el escarificador combinado C-101 y posteriormente se desarrolló el C-101XV, implemento que mediante cuatro 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 en suelos arcillosos no cumplen las exigencias agrotécnicas de la caña de azúcar para la siembra, requiriéndose de labo-

res complementarias a base de gradas y otros implementos agresivos al suelo.

La principal deficiencia del C-101XV radica en que el perfil de suelo labrado simula una trinchera y su geometría difiere con la del surcador utilizado, no logrando conformar el surco con los parámetros requeridos por el cultivo, implicando gastos innecesarios de energía en el proceso; sin embargo posee principios de trabajo muy beneficiosos que favorecen la conservación del suelo (Albóniga, 2007).

Como solución a tales deficiencias resulta necesario aumentar el ancho de trabajo de los órganos de corte, necesiándose de nuevas investigaciones que lo corroboren (Albóniga *et al.*, 2011). Por lo que se tiene como objetivo evaluar en condiciones de laboratorio la calidad de labor en la preparación de suelo

Ferralítico rojo por los órganos escarificadores colocados de forma escalonada con ancho decreciente mediante la utilización de los métodos de simulación y semejanza en un canal de suelo.

MÉTODOS

La 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 escalonadamente la profundidad de trabajo, pero disminuyendo el ancho de las cuchillas laterales en función de la profundidad (Figura 1). Sus principales parámetros constructivos objeto de estudio se exponen en la Tabla 1.

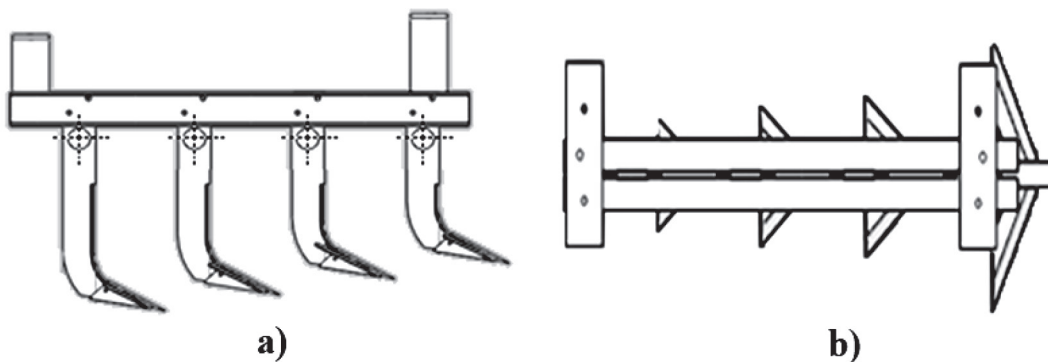


FIGURA 1. Esquema de la maqueta experimental: a). Vista lateral; b). Vista superior.

TABLA 1. Principales parámetros constructivos de la maqueta experimental

| Brazo | Ancho de trabajo, m | Profundidad de trabajo, m | Distancia entre órganos, m |
|-------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 | 0,365 | 0,038 | 0,248 |
| 2 | 0,310 | 0,075 | |
| 3 | 0,265 | 0,113 | |
| 4 | 0,220 | 0,150 | |

En la evaluación se utilizó un diseño experimental 2³ para el laboreo en franjas en condiciones de laboratorio, en suelo Ferralítico rojo compactado (Tabla 2), teniendo como variables de entrada: contenido de humedad, compactación del suelo y velocidad de trabajo; como salida: la calidad de labor evaluada por la mullición del suelo y el área labrada, así como la resistencia a la tracción que no se tiene en cuenta en el presente trabajo.

Tabla 2. Características físicas del suelo estudiado (Gonzales *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:

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

donde:

$\lambda_{(l)}$ - factor de escala de longitud;
 l_p - longitud del prototipo; l_m - longitud del modelo.

Escala del área:

$$\lambda_{(A)} = \lambda_{(l)}^2 \tag{2}$$

donde:

$\lambda_{(t)}$ -factor de escala del área.

Escala de velocidad:

$$\lambda_{(V)} = \lambda_a \sqrt{\frac{\lambda_{(t)}}{\lambda_a}} = \sqrt{\lambda_{(t)} \lambda_{(g)}} \quad (3)$$

donde:

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

La velocidad del modelo se puede determinar como:

$$V_m = \frac{V_p}{\lambda_{(V)}} = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda_{(t)} \lambda_{(g)}}} \quad (4)$$

Metodologías utilizadas para la preparación de las condiciones experimentales

Con el objetivo de obtener los parámetros de humedad, compactación y velocidad en los que se realiza la labranza comúnmente, en suelos Ferralítico rojo compactado dedicados a caña de azúcar. Previo a los experimentos el suelo fue mullido a una profundidad de 17 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 cm y la tercera al nivel de la superficie. En el proceso se tomó como referencia los valores de compactación reportados por Albóniga (2007), en la hilera donde se ubica la plantación anterior.

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 nylon, 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 de 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 FIELDSCOUT Modelo: SC 900 SN: 328, con una apreciación de $\pm 1,25$ cm y $\pm 0,103$ 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 portaimplemento.

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5)$$

donde:

Z_1 –número de dientes del piñón motriz;

Z_2 –número de dientes del piñón conducido;

n_2 –velocidad angular en el piñón de salida;

n_1 –velocidad angular del piñón motriz.

Metodologías utilizadas para la evaluación de la calidad de la labor

Se realizó considerando: La mullición del suelo, a partir del porciento de agregados resultante de la labor y el área labrada.

Mullición del suelo

Para clasificar las dimensiones de los agregados del suelo 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 perfilómetro y regla calibrada de apreciación ± 1 cm y ± 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 par:

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

donde:

$$h = \frac{b-a}{n}, m \quad (7)$$

$a(= x_0)$; $b(= x_n)$; Siendo x el ancho de trabajo, m;
n- número de intervalos de integración.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

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

| Variantes | Humedad, % | Compactación, MPa | Velocidad, m/s | Profundidad máxima, m |
|-----------|---------------|----------------------|-------------------|--------------------------|
| I | 19,73 | 2,29 | 1,38 | 0,15 |
| II | 21,21 | 3,76 | 1,38 | 0,15 |
| III | 28,28 | 2,14 | 1,35 | 0,15 |
| IV | 30,02 | 2,37 | 1,35 | 0,15 |
| V | 24,90 | 1,11 | 2,05 | 0,15 |
| VI | 23,21 | 2,79 | 2,05 | 0,15 |
| VII | 25,12 | 3,29 | 1,98 | 0,15 |
| VIII | 26,36 | 3,97 | 1,98 | 0,15 |

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

MULLICIÓN DEL SUELO

La Tabla 4 muestra el comportamiento de la mullición del suelo (transformado a escala real) en cada uno de los experimentos. Como se puede apreciar existen diferencias estadísticamente significativas entre las variantes respecto al grado de mullición del suelo, con un nivel de confianza del 95%, lo que corrobora la variabilidad de este parámetro en función de la compactación, humedad y velocidad.

En los casos I y VI, se obtiene el mayor porcentaje de agregados mayores de 40 mm, el 38,74 y 36,86% respectivamente, lo que se justifica por el hecho de trabajar a humedades de 19,73 y 23,21%, por debajo del estado de sazón o tempero (21,28...27,36%) para este tipo de suelo y a la mayor velocidad en el experimento VI. Por otro lado se aprecian diferencias significativas entre los rangos de partículas R1, R2 y R3 con respecto a R4; hallándose el mayor porcentaje de agregados dis-

tribuidos en el rango R1 y el menor en R4, lo que constituye un aspecto positivo, teniendo en cuenta que se logra más del 70% de agregados con diámetro menor a 40 mm y solo el 13,47% tienen diámetro inferior a 10 mm, o sea, se obtiene como promedio un 56,88% de los agregados con tamaño apropiado (10...40 mm), laborando en un rango amplio y variado de condiciones de compactación, humedad y velocidad, incluso superiores a las reportadas para este tipo de suelo y a las que normalmente se realizan las labores agrícolas.

Este resultado es similar al logrado por Leyva (2009), tomando como referencia los agregados mayores de 50 mm en un suelo arcilloso pesado para una tecnología de laboreo mínimo con C-101 más Multilabrador UDG-3,2, donde se obtuvo que estos constituían el 28,5%, superior al reportado por el propio autor Leyva (1998), al evaluar este indicador en suelos Ferralíticos rojos con un pase de multiarado, resultando mayores de 50 mm el 46% de los agregados.

TABLA 4. Comportamiento de la mullición del suelo por variante transformado a escala real

| Rangos de partículas evaluados, mm | Valor medio real de la mullición por variante, % | | | | | | | | Media |
|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | |
| R1(>40) | 38,74 | 26,76 | 18,96 | 21,38 | 33,88 | 36,86 | 28,98 | 31,64 | 29,65 |
| R2(20...40) | 30,10 | 22,60 | 34,22 | 39,40 | 34,66 | 31,42 | 21,04 | 21,02 | 29,30 |
| R3(10...20) | 24,42 | 23,36 | 31,66 | 37,32 | 28,60 | 27,48 | 20,56 | 27,12 | 27,56 |
| R4(<10) | 6,74 | 27,28 | 15,16 | 1,90 | 2,86 | 4,24 | 29,42 | 20,22 | 13,47 |
| E. S | | | | | | | | | ±1,79 |
| C. V,% | | | | | | | | | 40,55 |
| Significación | | | | | | | | | p<0,05 |

Área labrada

En la Tabla 5 se expone el valor medio del área labrada (transformado a escala real) obtenida en las diferentes condiciones experimentales, apreciándose diferencias estadísticas significativas con una confianza del 95% entre los experimentos VII y VIII con respecto a I, II, III y IV; no encontrándose diferencias entre V y VI. Estos resultados se consideran lógicos, porque si se observa la Tabla 3 en las variantes VII y VIII se trabajó a mayor velocidad, y en los parámetros de humedad (tempero) en que se reportan los mejores resultados de calidad de labor para este tipo de suelo, coincidiendo con el criterio de Kliuchkov (1984).

TABLA 5. Área labrada obtenida en las diferentes condiciones experimentales

| Parámetro | Valor medio real del área labrada por experimento, m ² | | | | | | | | Media |
|---------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | |
| Área labrada | 0,140 | 0,142 | 0,146 | 0,146 | 0,186 | 0,170 | 0,199 | 0,199 | 0,164 |
| E. S | | | | | | | | | ±0,009 |
| C. V,% | | | | | | | | | 15,51 |
| Significación | | | | | | | | | p<0,05 |

El resultado obtenido (0,163 m²) teniendo en cuenta el criterio de Leyva (1989), que con una superficie descompactada de 0,115 m² la caña de azúcar se desarrolla sin dificultad, es bueno y similar a los publicados por el propio autor Leyva (2009) y Betancourt *et al.*, (2007) reportando 0,17 m² y 0,18 m² respectivamente con el escarificador combinado C-101, en tecnologías de laboreo mínimo, o sea realizando pases de grada entre la labor de descepado y la de surcado.

El comportamiento del área labrada en función de las variables consideradas se refleja en la Figura 2, resultando significativo la fuerte influencia que ejercen la velocidad de trabajo y el contenido de humedad, así como la débil dependencia de la compactación del suelo, comportamiento poco usual, pero justificado, teniendo en cuenta que la profundidad de trabajo es contante. No obstante se evidencia la importancia de hacer una correcta explotación de los medios mecanizados en la preparación de suelo.

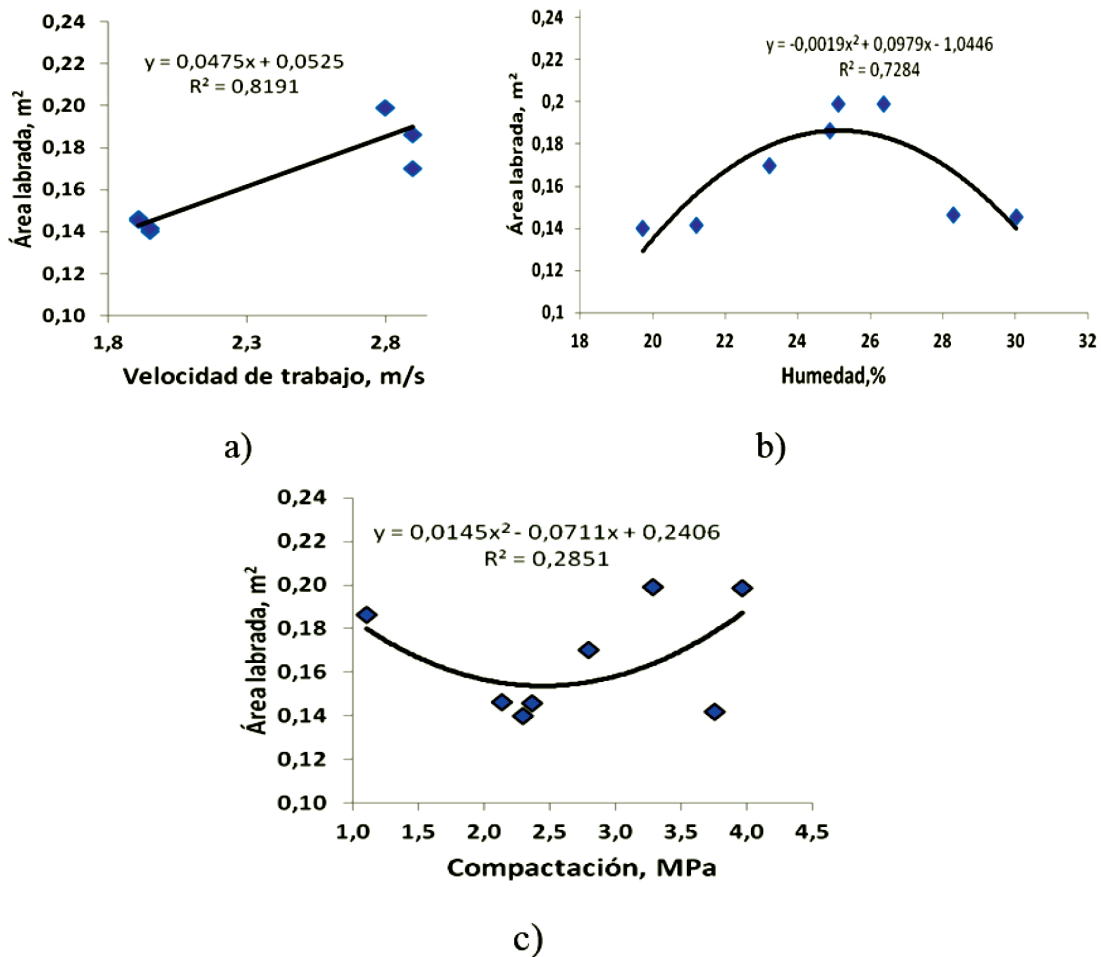


FIGURA 2. Comportamiento del área labrada: a). En función de la velocidad de trabajo; b). En función del porcentaje de humedad contenida en el suelo; c). En función de la compactación del suelo.

Un requisito importante durante la preparación de suelo para la siembra de la caña de azúcar es el perfil del surco a obtener, debiéndose garantizar durante la labranza condiciones que faciliten el surcado, por lo que cuando la preparación se realiza en franjas con el fin de disminuir el consumo energético de la labor debe existir similitud entre el perfil de suelo labrado y el del surco a conformar, pudiéndose comprobar en la Figura 3, la similitud entre ambos lograda. Dichos resultados posibilitan el diseño y construcción de un prototipo experimental para la preparación del suelo en franja para la siembra de la caña de azúcar.

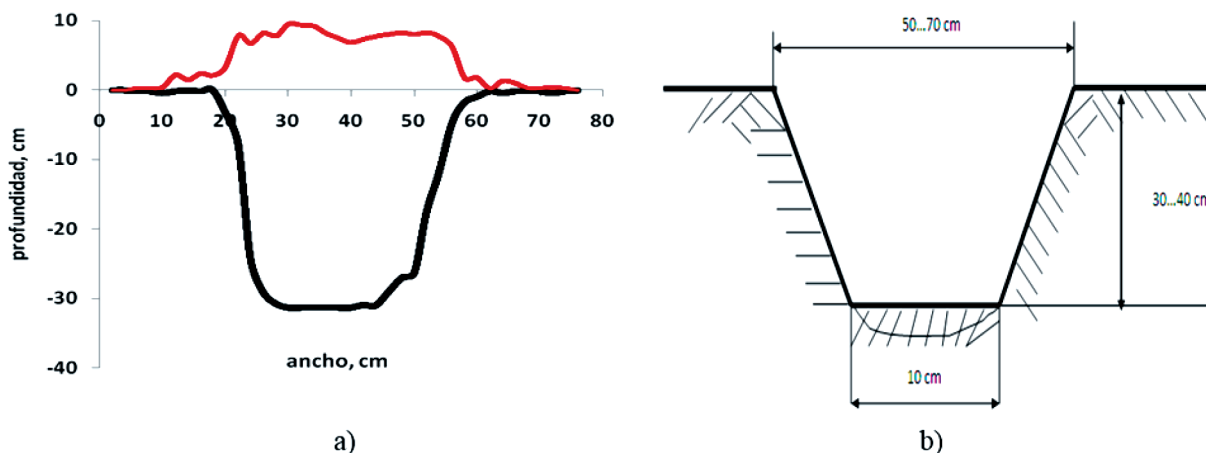


FIGURA 3. a). Perfil del suelo labrado obtenido; b). Perfil del surco exigido para el adecuado desarrollo de la caña de azúcar (NRAG-047: 1978 y INICA, 2007).

CONCLUSIONES

- El 70% de los agregados obtenidos son de diámetro menor a 40 mm y solo el 13,47% tienen diámetro inferior a 10 mm, obteniéndose como promedio un 56,88% de agregados con tamaño apropiado entre 10...40 mm, laborando en un rango amplio y variado de condiciones de compactación, humedad y velocidad, incluso superiores a las reportadas para este tipo de suelo (Ferralítico rojo compactado) y a las que normalmente se realizan en las labores agrícolas;
- La mullición obtenida es muy favorable ecológicamente, porque crea condiciones que favorecen la siembra y desa-

rollo de la caña de azúcar, permitiendo conservar el suelo y mejorar sus propiedades físico-químicas;

- El área labrada media obtenida (0,163 m²) cumple con la calidad exigida ya que es superior al valor mínimo reportado en que la caña de azúcar se desarrolla sin dificultad de 0,115 m²;
- La geometría del perfil de suelo labrado obtenido satisface los parámetros exigidos por la norma cubana NRAG-047: 1978 y el Instructivo Técnico del INICA, (2007) para la siembra de la caña de azúcar;
- Los resultados obtenidos permiten el diseño y construcción de un prototipo experimental para la preparación del suelo en franja para la siembra de la caña de azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBÓNIGA, R. A.; DOMINGUEZ, C; IGLESIAS, C; A. FERNÁNDEZ DE CASTRO: "Principio de la brocha mecánica aplicado a un implemento de preparación de suelo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(4): 17-20, 2011.
2. ALBÓNIGA, R.: *Diseño de una herramienta de múltiples escalones para implementos agrícolas. Informe de evaluación energética en caña de azúcar. Condiciones naturales*, Ed. CICMA, La Habana, Cuba, septiembre, 2007.
3. BETANCOURT, Y.; M. RODRÍGUEZ; A. GUTIÉRREZ; E. VELARDE; 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, 2007.
4. GÓMEZ A.; E. VELARDE; R. CÓRDOBA: "Nuevas soluciones para la preparación de suelos en Cuba", *Cuba & caña*, 2(3): 31-36, septiembre-diciembre, 1997.
5. GONZÁLEZ, O; IGLESIAS, C; HERRERA, M; LÓPEZ, E; A. SÁNCHEZ: "Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 50-54, 2008.
6. INICA. *Instructivo Técnico para la Producción y Cultivo de la Caña de Azúcar*, Primera Edición. La Habana: Ed. INICA, 2007. 166pp.
7. KLIUCHKOV, A. V.: "Probabilidad de destrucción de los terrones del suelo durante su elaboración" *Revista Mecanización y Electrificación de la Agricultura*, 17(2): 17-19, 1984.
8. LEYVA, O; L. PARRA; I. REYES; 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): 1989.
9. LEYVA, O.: *Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos pesados basada en la aplicación de una máquina compleja en el cultivo de la caña de azúcar. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas*, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2009.
10. LEYVA, O.; A. LUNA, R. TORRES y A. MORALES: "Comportamiento de la resistencia traccional en un escarificador vibratorio", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 17-20, 1998.
11. LEYVA, S. O; P. PANEQUE; VIDAL, Y; PARRA, L. R; A. ORTIZ: "Efecto de seis tecnologías de laboreo de conservación sobre un suelo aluvial", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16 (1): 77-80, 2007.
12. CUBA. MINISTERIO DE LA AGRICULTURA. NRAG 047:78: *Preparación de suelos en caña de azúcar*. Ministerio de la Agricultura. Cuba. Vig. Julio 1978.

13. PUPO, L. E.; V. M. TEJEDA; M. L. RODRÍGUEZ; E. E. SAO: *El laboreo localizado con el C-101, resultados técnico-económicos obtenidos en la aplicación entre el periodo 1999-2001 en la provincia Las Tunas*, Ed. ULT, Las Tunas, Cuba, 2004.

Recibido: 14 de julio de 2012.

Aprobado: 15 de septiembre de 2013.

Calixto Domínguez Vento, Ingeniero, Aspirante a Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Pinar del Río, Cuba, **Correo electrónico:** esp-iagric@pri.minag.cu.

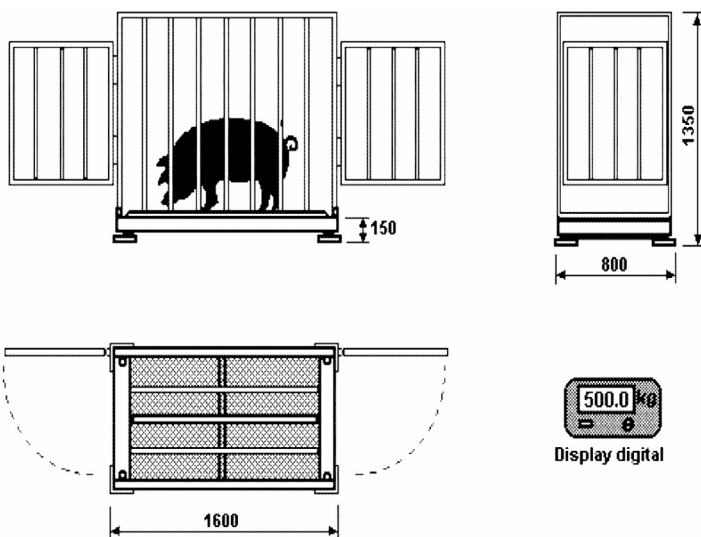
Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



MAQUINARIA AGRICOLA & INSTRUMENTOS DE MEDICION

BALANZAS PARA CERDOS Y OVINOS

CEMA TED - 500



Capacidad hasta 500 kg.

Precisión de 0,2 kg.

Presentación de la lectura: Digital (5 dígitos LCD).

Dimensiones de la plataforma: 1600 x 800 mm.

Altura de la jaula: 1350 mm.

Superficie de la plataforma: Metálica con alfombra de goma.

Solicitudes de ofertas a:

M.Sc. Héctor de las Cuevas Milán
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de
Tapaste. km 23, San José de las Lajas,
Mayabeque, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: hector@isch.edu.cu