



## Agro-technique Evaluation of a Cuban Tow in a VertisolPelic Typical Soil

### *Evaluación agrotécnica de un semirremolque autobasculante en un suelo VertisolPélico típico*

Dr.C. Yoel Betancourt-Rodríguez<sup>I</sup>, M.Sc. Maykel Cruz-Díaz<sup>II</sup>, Ing. Dayana Pérez-Santos<sup>II</sup>, Ing. Jesús Izquierdo-Daniel<sup>I</sup>, Ing. Osmel Machado-Sánchez<sup>I</sup>

<sup>I</sup> Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro-Villa Clara), Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Central de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

**ABSTRACT.** In order to determine the fulfillment of agro-technical parameters of Cuban self-tipping trailer in intermediate transport of sugar cane inside the field, in heavy clay soil, with mound surface, an investigation was carried out in a Vertisol typical Pelic. The harvester CASE IH 8 000 and the Cuban self-tipping trailer coupled to the tractor Maxxum CASE 150 were the equipment that participated in the harvesting process. The results showed that Cuban Trailer does not fulfill the agro-technical requirements for the sugar cane transportation under the conditions mention before, for the following reasons: it surpasses the protection area of the plants, being located at 45 cm from the end of the mound base, with a standard deviation of  $\pm 25$ cm. It means that 100% of the area is under machinery traffic, applying pressures higher than 300 kPa, similar to other equipment like Zil 130, RR 6 and RC 10 trailer which are not appropriate for the traffic in the sugar cane field. Also, the height of the mound diminishes at 65%, it compacts to the soil where the 90% of the cane roots are developed, because it increases significantly the apparent density and the penetration resistance until 20 cm from the superficial horizon, in soil humidity of 51% hbss. The modification of the self-tipping trailer was recommended for using it under these conditions.

**Keywords:** compaction, penetration resistance, intermediate transport.

**RESUMEN.** Con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los parámetros agrotécnicos del semirremolque en el transporte de la caña de azúcar dentro de campos con superficie acanterada, se realizó una investigación en un suelo VertisolPélico típico. En la cosecha participaron la combinada CASE IH 8 000 y el semirremolque acoplado al tractor Maxxum CASE 150. Los resultados mostraron que el autobasculante no cumple con los requerimientos agrotécnicos para el trasbordo de caña en las condiciones descritas, por las siguientes causas: sobrepasa la zona de protección de las plantas, ubicándose a 45 cm tomando como referencia el extremo de la base del cantero, con una desviación estándar de  $\pm 25$  cm, lo que conlleva a que con este sistema de cosecha en general se trafique sobre el 100% del área; al no respetar la zona de protección del cultivo en uno de los canteros sobre los cuales transita, llega a aplicar presiones superiores a 300 kPa, similares a otros equipos como el Zil 130, Remolque RR 6 y Remolque RC 10 no adecuados para el tráfico dentro del campo, lo que disminuye la altura del cantero hasta 11 cm (65%); compacta el suelo en la zona donde se desarrolla en 90% de las raíces de la caña, al incrementar significativamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración hasta 20 cm del horizonte superficial, en humedades próximas al 51% hbss.

**Palabras Clave:** compactación, resistencia a la penetración, transporte intermedio.

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es un cultivo de elevada relevancia a nivel mundial. De sus tallos se extrae la sacarosa que es uno de los principales suplidores energéticos en la alimentación humana. Su origen se ubica en Asia, más exactamente en países como India, Malasia y China. Fue llevada a otros países, tropicales y subtropicales, por colonizadores y comerciantes. Llega a Cuba con los españoles durante la colonización<sup>1</sup> (Vicini y Vicini, 2010; Hernández y Hernández, 2013).

## INTRODUCCIÓN

Sugar cane (*Saccharum officinarum* L.) is a cultivation of lofty worldwide relevance. Sucrose, one of the main energetic suppliers in human feeding, is extracted from its stem. It is native to Asia, more exactly to countries like India, Malaysia and China. It was taken to other tropical and subtropical countries by merchants and colonizers. It was introduced in Cuba by the Spanish during colonization<sup>1</sup> (Vicini y Vicini, 2010; Hernández y Hernández, 2013).

Una de las causas que actualmente afectan el rendimiento de la caña de azúcar en Cuba es la compactación de los suelos. Dentro de los factores que dan lugar a la misma están el tráfico de las máquinas dentro del campo, principalmente en la cosecha mecanizada. En dicho proceso se pueden identificar como aspectos de gran interés el sistema de cosecha empleado y el complejo tecnológico cosecha-transporte por su impacto negativo sobre el estado físico y físico-mecánico del suelo<sup>2,3</sup> (Saffih-Hdadi *et al.*, 2009; González *et al.*, 2013a, 2013b).

Estos sistemas de corte mecanizado incluyen, a su vez, el sistema de transporte denominado Tiro Partido o Traslado de caña (remolques o semirremolques autobasculantes tirados por tractor para el transporte dentro del campo y camiones con remolques para el tiro hacia el basculador) por aportar en general los siguientes beneficios: reducción de los daños a los campos cañeros producto de la cosecha mecanizada, aumento de la productividad, disminución de los costos de la cosecha y mejora de la calidad del material que va a la industria<sup>4</sup>.

Los suelos del norte de Villa Clara tienen características específicas tales como escasa pendiente, alto contenido de arcilla del tipo Montmorillonita (2:1), escasa profundidad efectiva, mal drenaje interno y externo, alta plasticidad, adhesión y cohesión. Las peculiaridades antes señaladas condujeron a un manejo agrotécnico diferenciado en el cultivo de la caña, destacándose la plantación en canteros (Gutiérrez *et al.*, 2013).

Dadas las irregularidades detectadas en el cumplimiento de los parámetros agrotécnicos en el semirremolque de procedencia nacional, por poseer un ancho de vía no adecuado a la distancia de plantación, se partió de la hipótesis que es posible que se afecten las propiedades físicas por traficar sobre el cantero.

Tomando en cuenta lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo es evaluar el cumplimiento de los requerimientos agrotécnicos del semirremolque autobasculante cubano en el transporte de la caña de azúcar dentro del campo en los suelos arcillosos pesados, con superficie acanterada.

## MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas de la UBPC Tito González, UEB Héctor Rodríguez, Ranchuelo, Villa Clara sobre un suelo clasificado como Vertisol Pélico típico según la nueva clasificación de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 2015). El área se encontraba plantada en cantero con una cepa de primer retoño, rendimiento estimado 50 t·ha<sup>-1</sup>, de la variedad C 89-250. Los principales indicadores medidos para caracterizar las condiciones del campo fueron según la norma:

- Distancia entre hileras; altura, ancho de la base y de la copa del cantero, m. Se empleó una cinta métrica con nivel de apreciación 1mm.
- Humedad en base al suelo seco (hbss), %. Se determinó por el método Gravimétrico, tomándose las muestras de suelo cada 0,1 m hasta los 0,3 m de profundidad en el centro de la hilera. La masa húmeda y seca de las muestras se determinó en el laboratorio con balanza de nivel de apreciación 0,01g.

Soil compaction is one of the causes affecting sugar cane yield in Cuba. Infield traffic of machine in harvest seasons is considered within the most important factors of soil compaction. In that process, the harvest system and the harvest-transport technological machine complex are identified as the great interest because of their negative impact on the physical and mechanical soil properties<sup>2,3</sup> (Saffih-Hdadi *et al.*, 2009; González *et al.*, 2013a, 2013b).

These mechanized harvest systems also include the transport system named *Tiro Partido o Traslado de caña* (the use of self-tipping trailer pull by tractor to move in the field and a truck with a trailer to transport the sugar cane to the industry) because they have the following benefits: reduction of the damages of the cane fields caused by the mechanized harvest, increased productivity, decreased costs of the harvest and improvement of the material quality that goes to the industry<sup>4</sup>.

The soils of the north of Villa Clara province have specific characteristics such as scarce slope, high content of Montmorillonitic clay (2:1), scarce working depth, poor internal and external drainage, high plasticity, adhesion and cohesion. The peculiarities indicated before led to a different agro-technical handling in cane cultivation, especially, mound plantation (Gutiérrez *et al.*, 2013).

Due to the irregularities detected in the fulfillment of agro-technical parameters of Cuban self-tipping trailer, because having a track gage unsuitable to the distance of plantation, it is possible to affect the soil physical properties as a result of the traffic over the mound.

Taking in to account such irregularities, the objective of this paper is to evaluate the fulfillment of agro-technical characteristics of Cuban self-tipping trailer in the sugar cane infield transportation in heavy clay soils with mound surface.

## METHODS

The research was carried out at Tito González agricultural farm, that belongs to Héctor Rodríguez Sugar Cane Mill, on a soil classified as typical Vertisol Pelic, according to the new classification of Cuban soils (Hernández *et al.*, 2015).

The area was planted in mounds with a stump of the first shoot of C89-250 variety and of 50 t·ha<sup>-1</sup> estimated efficiency. The principal indicators taken into consideration to characterize the field conditions were:

- Distance between rows; height, mound base and top width, m. A measuring tape was used with an appreciation level of 1mm.
- Humidity according to the dry soil (hbss), %. It was determined by the gravimetric method, taking the soil samples every 0,1 m till 0,3 m depth in the center of the row. Humid and dry mass of the samples were determined in the lab with 0,01g appreciation level scale.

<sup>1</sup> RODRÍGUEZ, P.M.: Sistemas de cosecha de la caña de azúcar; ventajas y desventajas, 2011.

<sup>2</sup> CALZADA, R.: Modelación matemática del área de contacto neumático – suelo en superficie rígida y deformable, Universidad Central Marta Abreu”, Tesis de Diploma, Villa Clara, Cuba, 2006.

<sup>3</sup> GONZÁLEZ, C.O.: Modelación de la compactación provocada por el tráfico de neumáticos, de los vehículos agrícolas, en suelos en condiciones de laboratorio, Universidad Agraria de La Habana «Fructuoso Rodríguez», Tesis de Doctorado, Mayabeque, Cuba, 123 p., 2011.

<sup>4</sup> CAMECO: Ventajas del empleo del trasbordo de caña, [en línea], 2006, Disponible en: [http://www.deere.com/es\\_MX/ag/homepage/tips/trasbordo\\_cana.html](http://www.deere.com/es_MX/ag/homepage/tips/trasbordo_cana.html), [Consulta: 2 de noviembre de 2006].

También se evaluaron otras características como densidad del suelo, resistencia a la penetración y perfil del cantero; las cuales se explican más adelante.

Se utilizó la variante de cosecha mecanizada y el sistema de transporte de trasbordo de caña dentro del campo. Algunas características técnicas de los equipos utilizados se presentan en la Tabla 1.

Las dimensiones principales del sistema de rodaje del autobasculante son: ancho de vía de 2,70 m y ancho total de 3,30 m.

Other characteristics like soil density, penetration resistance and mound profile were also evaluated; but as they are part of the evaluation carried out in the experiment they are explained later.

Mechanized harvest variant and sugar cane transportation system in the field were used. Some technical characteristics of the equipment used are shown in Table 1 (CASE IH AGRICULTURE, 2009 and 2011).

**TABLE 1. Some technical characteristics of the equipment used in the harvest. Source <sup>5,6</sup>**  
**TABLA 1. Algunas características técnicas del equipamiento utilizado en la cosecha. Fuente <sup>5,6</sup>**

Equipment	Model and Brand	Total weight, kg	Tires dimentions	
			Forward front	rear
Self propel harvester	CASE IH 8000	15 000	400/60-5.5	23.1-26
Tractor	Maxxum CASE IH 150	10 000 <sup>+</sup>	16.9-28	24.5-32
Self-tipping trailer	-	16 000 <sup>*</sup>	600/50-22.5	

<sup>+</sup>Maxx gross weight according to manufacturer's specifications. <sup>\*</sup>Charged total weight of self-tipping trailer according to estimations realized.

Se realizaron las siguientes evaluaciones:

- Velocidad de traslación de los equipos durante la cosecha, kmh<sup>-1</sup>. Se determinó en 50 m lineales con cronómetro de 1s de apreciación.
- Distancia de penetración del neumático del semirremolque en la franja de seguridad (*D*) (Figura 2). Partiendo de las dimensiones del sistema de rodaje del autobasculante (Figura 1), Ancho de vía (*B*) y Ancho del neumático (*b*), Número de hileras que se ubican debajo del semirremolque (*n*) (una en este caso); y los parámetros vinculados a la plantación en cantero, Distancia de plantación (*M*) de 1,6 m y Franja de seguridad exterior (*C<sub>ext</sub>*) de 0,40 m; se tiene que (Chudakov, 1977):

$$D = C_{ext} + \left[ \frac{(B + b) - M(n + 1)}{2} \right] \quad (1)$$

The dimension of the truck dump set of wheel are: track gage 2,70 m and total width of 3,30 m.

The following evaluations were made:

- Equipment transportation speed during the harvest, kmh<sup>-1</sup>. It was determined by 50 m linear with a chronometer of 1 s of appreciation.
- The distance of the self-tipping trailer tire penetrations in the security stripe of land (*D*) (Figure 2). Starting from the dimensions of the trailer set of wheels (Figure 1), track gage (*B*), tire width (*b*), number of row under the trailer (*n*), one in this case; and the parameters related to the plantation in the mound plantation distance (*M*) of 1,6 m and exterior security strip of land (*C<sub>ext</sub>*) of 0,40 m; it is noticed that (Chudakov, 1989):

$$D = C_{ext} + \left[ \frac{(B + b) - M(n + 1)}{2} \right] \quad (1)$$

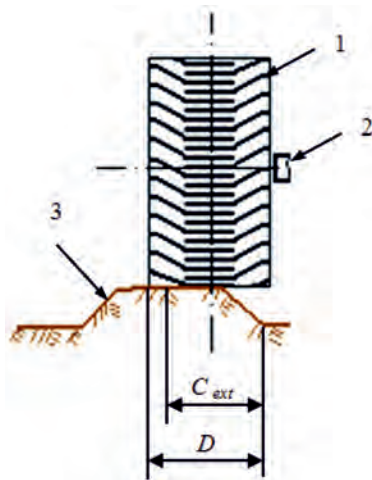


FIGURE 1. Self-tipping trailer tire penetration distance (*D*) in the security stripe of land (*C<sub>ext</sub>*). 1-Tire, 2-axle and 3- Mound surface.

FIGURA 1 Distancia de penetración del neumático del semirremolque (*D*) en la franja de seguridad (*C<sub>ext</sub>*). 1-Neumático, 2-Eje y 3 Superficie acanteraada.

<sup>5</sup> CASE IH AGRICULTURE: Cosechadoras de Caña Série A8000, [en línea], no. CA-A80-EO, Inst. Departamento de Comunicaciones, Sorocaba, São Paulo, Brasil, p. 28, 2009, Disponible en: [http://www.tapsapue.com/Portals/0/EasyDNNNewsDocuments/14/Folheto\\_A8000\\_-\\_EO\[1\].pdf](http://www.tapsapue.com/Portals/0/EasyDNNNewsDocuments/14/Folheto_A8000_-_EO[1].pdf), [Consulta: 26 de noviembre de 2016].

<sup>2</sup> CASE IH AGRICULTURE: Maxxum 135, 150, 165, 180, Empleo y Cuidado, 6.a ed., 252 p., 2011.

Perfil del cantero. Mediante el empleo del nivel de burbuja y el perfilómetro con divisiones en el plano horizontal cada 5 cm y apreciación en la medición en el plano vertical de 1 mm (Figura 2). Las evaluaciones se realizaron en un ancho total de 1,6 m, es decir de centro a centro de espacio entre hileras (camellón) antes y después del paso del autobasculante.

Presión media específica sobre el suelo para condiciones normales de trabajo y reales del semirremolque cubano objeto de investigación, kPa.

En esta investigación se define como Condiciones Normales de Trabajo (CNT) a aquellas donde el semirremolque pone en contacto con el suelo toda el área de apoyo de los neumáticos, según diseño; y Condiciones Reales (CR) donde ocurre lo contrario, es decir solo una parte de la superficie de apoyo del neumático se pone en contacto con el suelo. El análisis en esta evaluación se realizó considerando el peso total del autobasculante.

La presión media específica para condiciones normales ( $P_n$ ) fue determinada utilizando la siguiente expresión:

$$P_n = \frac{W_n}{A_n}, \text{ kPa} \quad (2)$$

donde:

$W_n$  - peso o carga sobre el neumático, kN;

$A_n$  - área de contacto del neumático con el suelo en condiciones normales, m<sup>2</sup>.

Para la determinación de  $A_n$  se emplearon las expresiones siguientes propuestas por Sánchez-Girón (1996).

$$A_n = b_n * l \quad (3)$$

Siendo:

$b_n$  - ancho de la huella, m.

Para condiciones normales de trabajo, la cual está en relación con el Ancho constructivo del neumático ( $b_c$ ), se halla como:

$$b_n = b_c * 0,87 \quad (4)$$

y  $l$ , ancho de la huella en condiciones normales de trabajo, m; se determina como:

$$l = 2 * \sqrt{\delta (dc - \delta)^2} \quad (5)$$

donde:

$\delta$ - deformación del neumático, m;

considerando una deformación del 20% respecto a la altura del neumático ( $h$ ), entonces:

$$\delta = 0.2 * h \quad (6)$$

Hallándose  $h$  por la expresión:

$$h = \frac{d_c - d_i}{2} \quad (7)$$

Siendo:

$d_c$  y  $d_i$  - diámetros exterior e interior del neumático, m.

La presión media específica para condiciones reales ( $P_r$ ) fue determinada utilizando la misma expresión (2), pero en este caso:

$$P_r = \frac{W_n}{A_r}, \text{ kPa} \quad (8)$$

donde:

$A_r$  - área real de contacto del neumático con el suelo, m<sup>2</sup>.

Normal work conditions are defined in this paper as those where the trailer tire rests on the soil, according to the design; and real conditions where the opposite occurs, that is only part of the tire rests on the soil. The analysis of this evaluation was carried out taking into account the total weight of the self-tipping trailer.

The Specific mid pressure for normal conditions ( $P_n$ ) was determined using the following expression:

$$P_n = \frac{W_n}{A_n}, \text{ kPa} \quad (2)$$

Where:  $W_n$ , Weight on the tire (kN) and  $A_n$ , Tire contact area with the soil in normal condition, m<sup>2</sup>.

To determine  $A_n$  the following expression proposed by Sanchez-Giron (1996) was applied.

$$A_n = b_n * l \quad (3)$$

Being:  $b_n$ , Track width, m; in normal working condition, which is in relation to the tire constructive width ( $b_c$ ), it is solved like:

$$b_n = b_c * 0.87 \quad (4)$$

and  $l$ , Track width in normal work condition, it is determined like:

$$l = 2 * \sqrt{\delta (dc - \delta)^2} \quad (5)$$

Where:  $\delta$ , Tire deformation, m; considering a deformation of 20% according to the height of the tire, then:

$$\delta = 0.2 * h \quad (6)$$

Solving  $h$  by the expression:

$$h = \frac{d_c - d_i}{2} \quad (7)$$

Being:  $d_c$  y  $d_i$ , External and internal diameters of the tire, m.

Specific mid pressure for real conditions was determined using the same expression (2), but in this case:

$$P_r = \frac{W_n}{A_r}, \text{ kPa} \quad (8)$$

Where:  $A_r$ , Real contact area of the tire with the soil, m<sup>2</sup>.

The real area was determined measuring the width and length of tire contact on the mound *in Situ*, with a measuring tape of 1 mm of appreciation.

Penetration resistance, kg·cm<sup>-2</sup>. By means of a Penetrograph with normalized end (ASAE S313,3 FEB04), 1 kg of appreciation, a cone base diameter of 12,83 mm and 30 degree conic end. The evaluation was carried out till 0,3 m of depth, before and after the track of the self-tipping trailer traffic.

Apparent or dry density, g·cm<sup>-3</sup>. It was determined by the cylindrical method, using cylinders of 50 cm<sup>3</sup>. Soil samples were taken every 0,1 m and till depth in each replica, before and after the self-tipping trailer. Humid and dry mass of

El área real se determinó midiendo el ancho y la longitud de contacto del neumático sobre el cantero *in situ*, con cinta métrica de apreciación 1mm.

Resistencia a la penetración,  $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Mediante el empleo de un Penetrógrafo con punta normalizada (ASAE S313,3 FEB04), precisión de 1 kg, diámetro de la base del cono de 12,83 mm y punta cónica de 30 grados. Se realizó la evaluación hasta los 0,3 m de profundidad, antes y después del paso del autobasculante.

Densidad aparente,  $\text{gcm}^{-3}$ . Se determinó por el Método del Cilindro, utilizando cilindros de  $50\text{ cm}^3$ . Se tomaron muestras de suelo cada 0,1 m y hasta los 0,3 m de profundidad en cada réplica, antes y después del paso del autobasculante. La masa húmeda y seca de las muestras se determinó en el laboratorio con balanza de nivel de apreciación 0,01 g.

Los datos obtenidos en las diferentes investigaciones se procesaron automatizadamente, empleando el paquete estadístico *STATGRAPHICS Plus 5.1* (Statistical Graphics Crop, 2000). Se utilizó la prueba t-Students para muestras independientes como criterio para estimar las diferencias entre las medias muestrales, a un 95 % de probabilidad, en la evaluación de la resistencia a la penetración y la densidad aparente antes y después del paso del autobasculante sobre el cantero.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones de investigación estaban caracterizadas por los siguientes valores promedios: distancia entre hieleras de 1,6 m; altura, ancho de la base y de la copa del cantero de 0,16; 0,86; y 0,47 m, respectivamente. Por otra parte, la velocidad de traslación de los equipos durante la cosecha fue  $5,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

La distancia de penetración promedio del neumático del semirremolque en la franja de seguridad (D) fue de 45 cm, con una desviación estándar de  $\pm 25\text{ cm}$ . Esta situación trae consigo lo siguiente: si el equipo se dispone de forma simétrica, D es aproximadamente igual a 45 cm, el autobasculante se sitúa como en la Figura 2a; si se coloca asimétricamente, en uno de los rodajes D es mayor o igual a 20 cm e inferior a 45 cm y en el otro será mayor a este último valor (Figura 2b), llegando hasta alrededor de los 70 cm.

En la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en Cuba, el sistema de rodaje de la cosechadora y el equipo de transporte con remolque o semirremolque, ya sea tractor o camión, transita dos veces por la zona de tráfico, los espacios entre hileras, aspecto que condiciona la deformación del perfil de suelo en dicha área, alejado de la cepa de caña, representado en ambos extremos de la curva DC (Después de la Cosecha) por Zt (Figura 3).

En el caso particular del sistema de trasbordo con el autobasculante objeto de investigación, que trafica sobre el cantero, los cambios de perfil se originan dentro de la franja de seguridad del cultivo, es decir sobre la cepa de caña, representado por Zc, donde la deformación como promedio es de 4 a 6 cm en la copa del cantero, entre 25 y 35%.

Se debe destacar que con el sistema de cosecha que emplea el autobasculante se transita por el 100% del área cañera, a diferencia de que con los sistemas utilizados en el norte de Villa Clara solo se trafica entre el 40 y el 56% del área, por respetar en mayor o menor medida la franja de seguridad del cultivo<sup>1</sup>.

El empleo del autobasculante en superficies acanteradas, al no respetar la zona de protección del cultivo, ejerce presiones similares al promedio de ambos puentes (delanteros y traseros) de los equipos que no están dotados para transitar dentro de los campos cañeros y que hoy se utilizan en el transporte cañero en Cuba (Figura 4),

samples were determined in the lab with scale of 0,01 g level of appreciation.

The obtained data in the different researches were automatically processed, using the statistical package *STATGRAPHICS Plus 5.1*. (Statistical Graphics Crop, 2000). T-Student Test was applied to independent samples as criteria to estimate the differences between sampling average, to a 95% of probability, in the evaluation of penetration resistance and apparent density before and after the self-tipping trailer track on the mound.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

Research conditions were characterized by the following average values: distance between rows of 1,6 m; height, base and top width of the mound of 0,16; 0,86; and 0,47 m, respectively. On the other hand, the moving speed of the equipment during the harvest was  $5,5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

The average penetration distance of the self-tipping trailer tire in the security strips of land (D) was 45 cm, with a standard deviation of  $\pm 25\text{ cm}$ . That result causes the following situations: if the equipment is in the symmetric way, D is about 45 cm, the self-tipping trailer is placed like in Figure 2a; but if it is asymmetrically placed, in one of the wheel D is higher or equal to 20 cm and lower than 45 cm and in the other tire, it will be higher than this last value (Figure 2b), reaching about 70 cm.

In mechanized harvest of sugar cane in Cuba, the system of wheel of the harvester and the transportation equipment with trailer, being a tractor or a truck go twice over the zone of traffic, the spaces between rows, aspect that provoke the deformation of the soil section in this area far from the cane stalk, represented in both ends of the curve DC (After harvest) by Zt (Figure 3).

In the particular case of the transfer system with the self-tipping trailer, object of investigation that goes over the mound, section changes are originated in the security strip of land of the cultivation that is in the cane stalk, represented by Zc, where the average deformation is from 4 to 6 cm in the top of the mound, between 25 y 35%.

It is important to point out that the harvest system with the Cuban self-tipping trailer traffics over the 100% of the sugar cane area, differing from the systems that are used on the north of Villa Clara, where it only goes over between 40 and 56%, as a result of taking in to account in higher or lesser degree the security strip of cultivation.

As the Cuban self-tipping trailer in mound surfaces, does not fulfill the protection zone of the crop, it exerts similar pressure to the average of both tire trains (forward and backward) of equipment that are not designed to the infield traffic and are used for cane transportation in Cuba (Figure 4), such as the Zil 130 truck, the RC 10 trailer (10 t of capacity and trailed by the KAMAZ 53212 truck) and the trailer RR 6 (6 t of capacity and trailed by the Zil 130 truck), with an average weight between axis, according to González (2011), of 305 kPa, 370 kPa and 309 kPa; respectively.

como el Camión Zil 130, el Remolque RC 10 (de capacidad 10 t, tirado por el camión KAMAZ 53212) y el Remolque RR 6 (de capacidad 6 t, tirado por el Zil 130), con peso promedio entre ambos ejes de 305 370 y 309 kPa; respectivamente<sup>3</sup>.

El tráfico del autobasculante sobre el cantero no solamente de-

The traffic of the self-tipping trailer over the mound not only deforms the soil surface, but also provokes an important increase of the apparent density ( $D_a$ ) in the superficial horizon (Table 2).

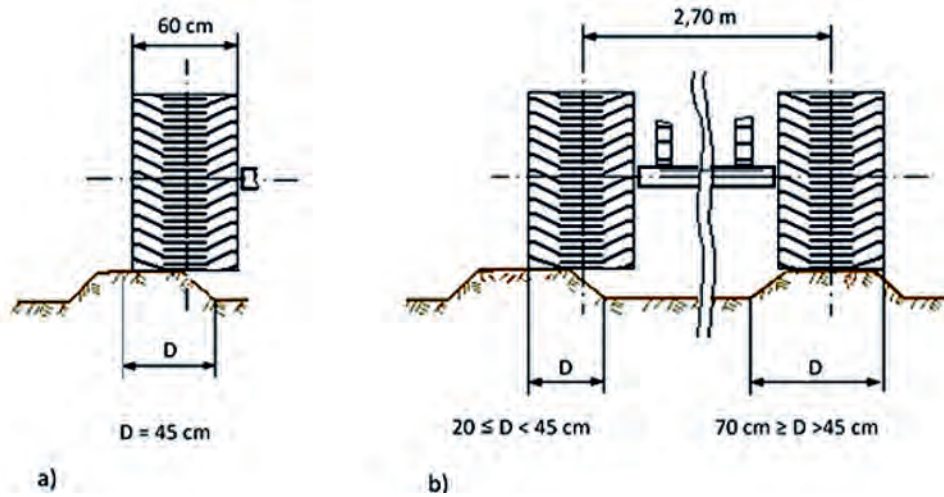


FIGURE 2. Tire penetration distance of the self-tipping trailer in the security strips (D). a) Symmetric way, b) Asymmetrically placed.  
 FIGURA 2. Distancia de penetración del neumático del semirremolque en la franja de seguridad (D). a) En posición simétrica y b) Situado asimétricamente.

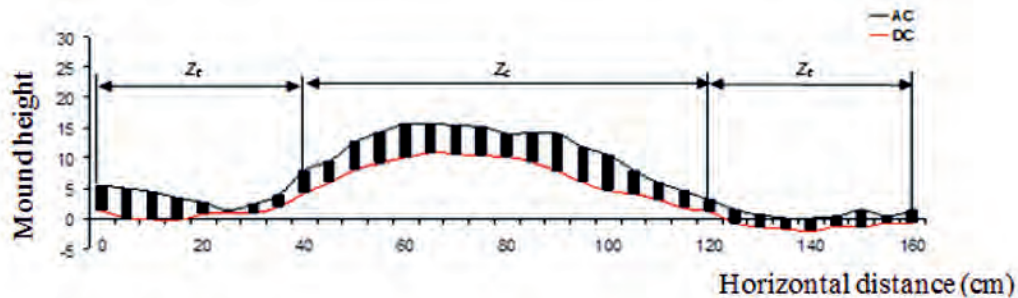


FIGURE 3. Soil profile variation. Vertical bars indicate section reduction in the traffic area ( $Z_t$ ) in both security strip land ( $Z_c$ ).  
 FIGURA 3. Variación del perfil del suelo. Las barras verticales indican la reducción del perfil en la zona de tráfico ( $Z_t$ ) y en ambas franjas de seguridad ( $Z_c$ ).

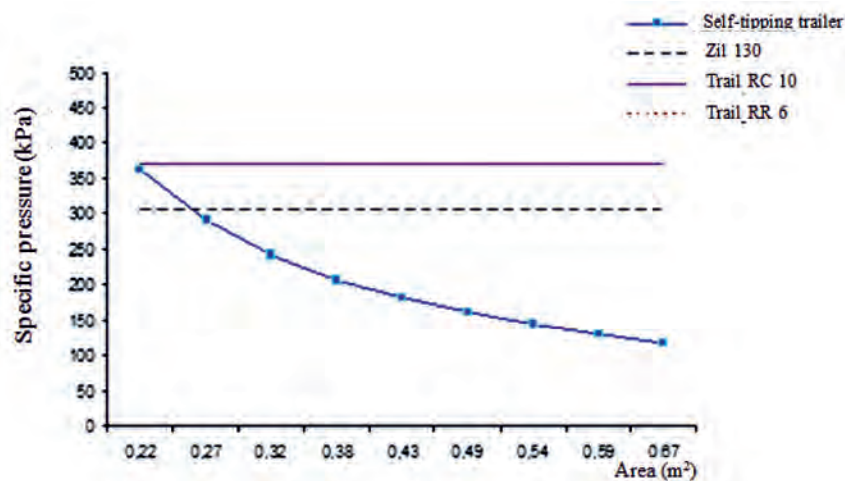


FIGURE 4. Specific pressure in function of the contact area and the one exerted between rows by other transportation equipment.  
 FIGURA 4. Presión específica en función del área de apoyo y la ejercida en los entre surcos por otros medios de transporte.

<sup>7</sup> RODRÍGUEZ, M.: Fundamentación del uso de rodaje por semiesteras en las cosechadoras cubanas de caña de azúcar para trabajar en suelos de mal drenaje con condiciones de alta humedad, Universidad Central «Marta Abreu», Tesis de Diploma, Villa Clara, Cuba, 1999.

**TABLE 2. Apparent density for different content of soil humidity**  
**TABLA 2. Densidad aparente para diferentes contenidos de humedad del suelo**

Soil humidity, hbss	Depth, cm	Condition	Average, gcm <sup>-3</sup>	EE	P Value	
40%	0-10	AC	1,07 a	±0,006	7,05E-8	
		DC	1,14 b	±0,006		
	10-20	AC	1,09 a	±0,004	0,091	
		DC	1,11 a	±0,005		
	51%	0-10	AC	1,01 a	±0,004	7,52E-12
			DC	1,08 b	±0,003	
10-20		AC	1,04 a	±0,004	1,25E-8	
		DC	1,09 b	±0,005		
20-30		AC	1,03 a	±0,004	0,070	
		DC	1,04 a	±0,004		

Legend: AC- Before harvest; DC- After harvest; EE- Standar Error.

forma el perfil del suelo, sino también origina un aumento significativo de la densidad aparente (*Da*) en el horizonte superficial (Tabla 2).

La mayor compactación del suelo después del tráfico del autobasculante se encontró en el perfil de 0 a 10 cm con humedad promedio de 40% hbss en los primeros 30 cm, incrementándose la densidad en un 7% (0,07 g·cm<sup>-3</sup>). Cuanto se transita a humedad de 51% hbss la compactación del suelo llega hasta los 20 cm de profundidad, con incrementos de la densidad aparente de 0-10 cm similares a los antes expuestos y algo inferiores en la capa de 10 a 20 cm.

Los resultados antes mostrados se deben a que la compactación de estos suelos aumenta con el incremento de humedad hasta un valor límite, hasta ese punto la reducción de la tensión capilar y el esfuerzo de compactación o reordenamiento de las partículas se hace más efectivo, es decir el agua actúa como un “lubricante”, según Juárez (1972) y Sowers (1979) citados por<sup>7</sup>. Pasado de ese contenido de humedad comienza a ocurrir lo contrario pues el espacio vacío se reduce y ya en humedades próximas a la de saturación, para que haya compactación debe haber drenaje del agua contenida en el suelo, fenómeno con efectos muy limitado por lo relativamente breve que resultan los esfuerzos provocados por el paso de un vehículo. Por otra parte, al aumentar el contenido de humedad se reduce la resistencia a la compresión que ofrece el suelo como antes se expresó, lo cual explica el incremento significativo de la densidad aparente hasta los 20 cm en 51% hbss.

La resistencia a la penetración (*Rp*) se incrementa significativamente como promedio en 9 kg·cm<sup>-2</sup> (883 kPa) en los primeros 10 cm del suelo después del paso del autobasculante sobre el cantero a humedad de 40% hbss (Tabla 3). En 51% hbss

The largest soil compaction after the self-tipping trailer traffic was found in the section from 0 to 10 cm with an average humidity of 40% hbss in the first 30 cm, increasing density in 7% (0,07gcm<sup>-3</sup>). When the humidity is 51%hbss the soil compaction reaches 20 cm of depth, increasing *Da* from 0-10 cm, similar to the result presented before and a bit lower in the soil layer from 10 to 20 cm.

The stated results are due to the soil compaction process increases with humidity till a limit value. Till that point the capillary tension reduction and the effort of compacting or reordering the particle are more effective, that is that water acts as a lubricant, according to Juárez (1972) and Sowers (1979), cited by<sup>7</sup>. Over passing that humidity content, the opposite starts to take place, because the empty place is reduced and in humidity proximal to saturation, in order to occur the compact process, there must be drainage of the water in the soil, phenomenon with restricted effects because effort provoked by a truck passing through is relatively short. On the other hand, when increasing the humidity content, the soil resistance to the compression is reduced, as it was expressed before, what explain the significant increase of *Da* till 20 cm in 51% hbss.

Penetration resistance (*Rp*) increases greatly with a 9 kgcm<sup>-2</sup> (883 kPa) average in the first 10 cm of the soil after the self-tipping trailer went over the mound with 40% hbss of humidity (Table 3). In 51% hbss, it was significant till 20 cm, with lesser increase.

**TABLE 3. Penetration resistance for different content of soil humidity**  
**TABLA 3. Resistencia a la penetración para diferentes contenidos de humedad del suelo**

Soil humidity, hbss	Depth, cm	Condition	Average, kg·cm <sup>-2</sup>	EE	P Value
40%	0	AC	7,5 a	±0,791	1,374E-2
		DC	26,8 b	±1,901	
	5	AC	11,5 a	±3,354	0,013
		DC	17,3 b	±0,866	
	10	AC	11,1 a	±0,748	0,045
		DC	14,0 b	±0,975	

Soil humidity, hbss	Depth, cm	Condition	Average, kg-cm <sup>-2</sup>	E E	P Value
51%	0	AC	6,7 a	±0,940	0,005E-2
		DC	21,2 b	±1,590	
	5	AC	8,2 a	±1,210	0,117E-2
		DC	16,6 b	±1,208	
	10	AC	6,2 a	±0,561	0,019E-2
		DC	13,3 b	±0,943	
	15	AC	6,2 a	±0,561	0,016E-2
		DC	10,8 b	±0,406	
	20	AC	7,1 a	±0,579	0,014
		DC	9,2 b	±0,339	

Legend: AC- Before harvest; DC- After harvest; EE- Standar Error.

Remark: Cero depth means the soil penetration resistance in the surface at the beginning.

la Rp fue significativa hasta los 20 cm, con menor incremento.

Los resultados de la evaluación de la resistencia a la penetración en la hilera de caña se manifestaron de forma similar que la densidad aparente del suelo, aspecto que está condicionado por la estrecha relación existente entre ambos indicadores. En este sentido, según Nacci y Pla (1992), y Rodríguez y Valencia (2012)1992; Rodr\{guez y Valencia, 2012, la resistencia es la sumatoria de varias propiedades físicas y físico-mecánicas del suelo como la densidad aparente, la humedad y la resistencia al corte.

En Colombia, Rodríguez y Valencia (2012), también reportaron tráfico sobre el surco de caña en suelos de textura media y fina por el empleo de medios de transporte con ancho de vía no adecuados a la distancia de plantación, llegando a pisar hasta el 66% de las cepas con un ancho entre 0,4 y 0,5 m, incrementándose la densidad aparente y la resistencia a la penetración del suelo en dicha zona.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis trazada en la introducción de este trabajo, la afectación de las propiedades físicas por el tráfico del autobasculante sobre el cantero en suelos arcillosos pesados

## CONCLUSIONES

- El el sistema de cosecha que emplea el autobasculante sobrepasa la zona de protección de las plantas, ubicándose a 45 cm tomando como referencia extremo de la base del cantero, con una desviación de ± 25 cm, lo que conlleva a que con este sistema de cosecha en general se trafique sobre el 100% del área.
- El semirremolque autobasculante aplica presiones específicas superiores a 300 kPa en uno de los canteros sobre los cuales transita, similares a otros equipos como el Zil 130, Remolque RR 6 y Remolque RC 10 no adecuados para el tráfico dentro de los campos cañeros, lo que disminuye la altura del cantero hasta en 11 cm (65%), en humedades próximas al 51% hbss.
- El semirremolque autobasculante compacta el suelo en la zona donde se desarrolla el 90% de las raíces de la caña, al incrementar significativamente la densidad aparente y la resistencia a la penetración hasta 20 cm del horizonte superficial, en humedades próximas al 51% hbss.

The results of the penetration resistance evaluation in the row of sugar cane were similar to the apparent density of the soil, aspect that is conditioned by the close relation between both indicators. In this sense, according to Nacci y Pla (1992), y Rodríguez y Valencia (2012)1992; Rodr\{guez y Valencia, 2012, the penetration resistance is the sum of different physical and mechanical soil properties like apparent density, humidity and shear strength.

In Colombia, Rodríguez y Valencia (2012) also reported traffic over the Sugar Cane rows of middle and fine soil texture because of the use of means of transport with no adequate track gage according to the plantation distance, that went over 66% of the soil surface by the traffic, with a width between 0,4 and 0,5 m, increasing the apparent density and the penetration resistance of the soil in that place.

The obtained result confirm the hypothesis stated in the introduction of this paper, the affectation of physical properties by the self-tipping trailer traffic over the mound in heavy clay soil.

## CONCLUSIONS

- The self-tipping trailer exceeds the protection area of plants, located at 45 cm taking the extreme of the mound base as reference, with a deviation of 25 cm what brings out that, with this harvest system in general, traffic occurs over 100% of the field.
- The specific pressure applied in one of the mounds affected by the field traffics is higher than 300 kPa, similar to other equipment such as Zil 130, RR 6 trailer and RC 10 trailer that are not designed to go into the field, which diminishes the mound height up to 11 cm (65%), in humidity of 51% hbss.
- The soil is compacted in the area where the 90% of the sugar cane roots are developed, when increasing significantly the apparent density and the penetration resistance till 20 cm of the superficial horizon in humidity of 51% hbss.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHUDAKOV, D.A.: *Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles*, Ed. Mir, Moscu, 434 p., 1977.



- GONZÁLEZ, C.O.; HERRERA, S.M.; IGLESIAS, C.C.E.; LÓPEZ, B.E.: “Análisis de los modelos constitutivos empleados para simular la compactación del suelo mediante el método de elementos finitos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 75-80, 2013a, ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, C.O.; IGLESIAS, C.C.E.; RECAREY, M.C.A.; URRIOLAGOITIA, S.G.; HERNÁNDEZ, G.L.H.; URRIOLAGOITIA, C.G.; HERRERA, S.M.: “Three dimensional finite element model of soil compaction caused by agricultural tire traffic”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 99: 146-152, 2013b, ISSN: 0168-1699, DOI: 10.1016/j.compag.2013.08.026.
- GUTIÉRREZ, A.; DÍAZ, F.R.; VIDAL, L.; RODRÍGUEZ, I.; PINEDA, E.; BETANCOURT, Y.; GÓMEZ, J.R.: “Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados con regadío superficial”, *Revista Cuba & Caña*, (Spp. 1): 15, 2013, ISSN: 1028-6527.
- HERNÁNDEZ, A.H.; HERNÁNDEZ, A.F.J.: “La caña de azúcar en su contexto histórico”, [en línea], En: Hernández, A.F.J.; Valencia, O.A. del C.; Toledo, G.J.A. y Hernández, A.H., *El sector cañero en nayarit desde una perspectiva organizacional y ambiental*, Ed. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso, México, 2013, ISBN: 978-84-15774-91-4, Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1333/cana-azucar.html>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.J.M.; BOSCH, I.D.; CASTRO, S.N.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p., 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- NACCI, S.; PLA, I.: “Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país”, *Agronomía Tropical*, 42(1-2): 115-132, 1992, ISSN: 0002-192X.
- RODRÍGUEZ, L.A.; VALENCIA, J.J.: “Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(10): 1128-1136, 2012, ISSN: 1807-1929, DOI: 10.1590/S1415-43662012001000014.
- SAFFIH-HDADI, K.; DÉFOSSEZ, P.; RICHARD, G.; CUI, Y.-J.; TANG, A.-M.; CHAPLAIN, V.: “A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density”, *Soil and Tillage Research*, 105(1): 96-103, 2009, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2009.05.012.
- STATISTICAL GRAPHICS CROP: *STATGRAPHICS® Plus*, [en línea], (Versión 5.1), [Windows], ser. Profesional, 2000, Disponible en: <http://www.statgraphics.com/statgraphics/statgraphics.nsf/pd/pdpricing>.
- VICINI, L.E.; VICINI, C.L.: *Mecanización del cultivo de caña de azúcar. Una mirada desde 1949 a 2050*, [en línea], no. 2, Inst. INTA, Informes técnicos del Proyecto PRECOP II - INTA EEA Famaillá, Tucumán, Argentina, p. 27, 2010, Disponible en: <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-mecanizacion-del-cultivo-de-caa-de-azucar.pdf>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].

**Received:** 13/09/2015.

**Approved:** 14/11/2016

Yoel Betancourt-Rodríguez, Inv, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro-Villa Clara), Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.  
E-mail: [yoel.betancourt@nauta.cu](mailto:yoel.betancourt@nauta.cu)

Maykel Cruz-Díaz, E-mail: [yoel.betancourt@nauta.cu](mailto:yoel.betancourt@nauta.cu)

Dayana Pérez-Santos, E-mail: [yoel.betancourt@nauta.cu](mailto:yoel.betancourt@nauta.cu)

Jesús Izquierdo-Daniel, E-mail: [yoel.betancourt@nauta.cu](mailto:yoel.betancourt@nauta.cu)

Osmel Machado-Sánchez, E-mail: [yoel.betancourt@nauta.cu](mailto:yoel.betancourt@nauta.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.