



<https://eqrcode.co/a/Migg1U>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

## Effects on soil and stump of mechanized activities in sugar cane cultivation

### *Efectos en el suelo y la cepa de la actividad mecanizada en el cultivo de la caña de azúcar*

Dr.C. Elvis López-Bravo\*, Dr.C. Omar González-Cueto<sup>1</sup>, Ing. Luis Manuel Hernández-Pérez<sup>1</sup>, Dr.C. Miguel Herrera-Suárez<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

**ABSTRACT.** The objective of the present work, was to determine the main effects on the soil and in the sugar cane stumps, of mechanized activities in the plantations. It was carried out in the Basic Unit of Cooperative Production (UBPC) “Máximo Gómez”, belonging to the municipality of Camajuaní, Villa Clara. To carry out the research, a characterization of the study area was made; the variations of the furrow profile were determined; resistance to penetration and soil moisture in the root zone and in the street, also damage to the cane strain was identified. The main results showed agglomerations of residues from the previous harvest and clean spaces without stumps and new sprout. The resistance to soil penetration showed values of 0.8 and 1.2 kPa on surface of the street and the area of the stumps respectively, increasing with the depth of the soil up to 30 cm. Soil moisture in the stumps was higher than in the street up to 25 cm deep, with values of 28.6 and 30% respectively on the surface. For its part, the profile of the furrows showed a considerable variability in regarding the geometry and height of the ridges. Limitations were found in terms of the depth of the main roots, their vitality and quantity, the secondary or capillary roots showed low development.

**Keywords:** Compaction, Moisture, Profilometer, Root, Harvest.

**RESUMEN.** El presente trabajo tuvo como objetivo determinar los principales efectos sobre el suelo y la cepa, de las actividades mecanizadas en plantaciones de caña de azúcar. El mismo se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) “Máximo Gómez”, perteneciente al municipio de Camajuaní, Villa Clara. Para la realización de la investigación se llevó a cabo una caracterización de la zona de estudio; se determinaron las variaciones del perfil de los surcos; la resistencia a la penetración y la humedad del suelo en la zona radicular y en la calle y se identificaron daños sobre la cepa de caña. Los principales resultados mostraron aglomeraciones de residuos de la cosecha anterior y espacios despoblados de cepas y nuevos brotes. La resistencia a la penetración del suelo, mostró valores de 0,8 y 1,2 kPa en la superficie de la calle y de la zona de la cepa respectivamente, aumentando con la profundidad del suelo hasta los 30 cm. La humedad del suelo en la cepa resultó mayor que en la calle hasta los 25 cm de profundidad, con valores de 28,6 y 30% respectivamente en la superficie. Por su parte, el perfil de los surcos mostró que existe una considerable variabilidad en cuanto a la geometría y la altura de los camellones. Se encontraron limitaciones en cuanto a la profundidad de las raíces principales, su vitalidad y cantidad, las raíces secundarias o capilares mostraron un bajo desarrollo.

**Palabras clave:** compactación, humedad, perfilómetro, radicular, cosecha.

## INTRODUCTION

For the sustainable production of cane sugar must be considered its impact from the environmental, economic and

## INTRODUCCIÓN

Para la producción sostenible de azúcar de caña se deben considerar su impacto desde el punto de vista ambiental, econó-

\*Author for correspondence: Elvis López-Bravo, e-mail: [elvislb@uelv.edu.cu](mailto:elvislb@uelv.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2285-3413>

Received: 15/01/2021.

Approved: 16/01/2021.

social point of view, as fundamental pillars of sustainability. The compaction of soils dedicated for sugarcane plantations is one of the causes of the fall in agricultural yields, having a negative effect on the growth and development of the new sprout, being one of the main problems to solve in actual sugar cane agriculture (R. Prado *et al.*, 2018; Colombi y Keller, 2019).

Soils with high moisture content to respect of plastic limit are more susceptible to compaction than dry soils in presence of external loads, normally generated by the pressures on the soil by means of tillage, the wheels of harvest machinery and transport. In addition, their properties such as clay content, porosity and bulk density also increase the compaction processes. As the good integration of the technologies involved in mechanized harvesting is achieved, the harmful effects on the soil can be minimized (González *et al.*, 2013; Matos *et al.*, 2014; Aguilera Esteban *et al.*, 2019).

Technological systems have been introduced in Cuba that include innovative harvesting machines, seeders and transport with auto-tipper. With the aim of reducing the damage of sugarcane fields during mechanized harvesting, the transportation system called split travel or sugar cane transshipment was introduced by means of self-tipping trailers or semi-trailers pulled by medium and high power tractor within the field and trucks with trailers to pull towards the industry tipper. This technology is intended to reduce the costs of the harvest and improve the quality of the row material for the industry. In the same way, subsoiling and deep cultivation of the soils are used as part of the agrotechnical attentions (Morejón *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2020).

Beside, farmers have developed methods to prevent damaging soil disturbance due to excessive cultivation and to rebuild soils that have already been severely damaged (Colombi y Keller, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020). The decrease in the agricultural yield of sugarcane fields has been linked to the reduction in soil fertility and modification of its physical and mechanical properties. These modifications have special emphasis on compacted soils, which includes a drastic reduction in water infiltration capacity, drainage and porosity as well as an increase in apparent density. On the other hand, soil compaction is mainly caused by mechanized operations such as harvesting, transport and agrotechnical treatments where the weight of the machinery is transformed into greater densification of the soils, damage of stumps, sprouts and geometry of the furrows (Ahmed Chacón-Iznaga, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020). The objective of the present work is to determine the main effects on the soil and stumps of sugar cane caused by mechanized activities in the sugarcane plantation.

## MATERIALS AND METHODS

The study took place in field number 2 of 17,5 ha of the UBPC "Máximo Gómez", located at coordinates 22.4827° North and 79.8070° West of the municipality of Camajuaní, Villa Clara (Figure 1). Which has an area of 203 ha dedicated of sugarcane plantation of Cuba 86-12 (C86-12) variety, wide on the island and favourable adaptation to areas with water stress, production of sprout as well as adaptable to poorly

mico y social como pilares fundamentales de la sostenibilidad. La compactación de los suelos destinados a las plantaciones cañeras, es una de las causas de la caída de los rendimientos agrícolas, teniendo un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de las cepas, siendo uno de los principales problemas que hay que enfrentar en la agricultura cañera (R. Prado *et al.*, 2018; Colombi y Keller, 2019). Los suelos con valores altos de humedad respecto al límite de plasticidad, son más susceptibles a la compactación que los suelos secos en presencia de cargas externas generadas por las presiones de los medios de labranza, cosecha y transporte. Inciden además en los procesos de compactación propiedades de los mismos tales como el contenido de arcilla, la porosidad y la densidad aparente. En la medida que se logre una buena integración de las tecnologías que intervienen en la cosecha mecanizada, se podrán minimizar los efectos perjudiciales al suelo (González *et al.*, 2013; Matos *et al.*, 2014; Aguilera Esteban *et al.*, 2019).

En Cuba se han introducido sistemas tecnológicos que incluyen novedosas máquinas cosechadoras, sembradoras y transporte con auto-basculante. Con el objetivo de reducir los daños a los campos cañeros producto de la cosecha mecanizada, se introduce el sistema de transporte denominado tiro partido o trasbordo de caña mediante remolques o semirremolques auto basculantes tirados por tractor de mediana y alta potencia dentro del campo y el empleo de camiones con remolques para el tiro hacia el basculador de la industria. Se pretende con esta tecnología una disminución de los costos de la cosecha y la mejora de la calidad del material que va a la industria. De igual modo se emplean labores de subsolado y cultivo profundo de los suelos como parte de la atención agrotécnica (Morejón *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2020). Por su parte los agricultores han desarrollado métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debido al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños (Colombi y Keller, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020).

El descenso del rendimiento agrícola de los campos de caña ha estado vinculado principalmente a la reducción de la fertilidad de los suelos y la modificación de las propiedades físicas y mecánicas del mismo entre otros factores. Estas modificaciones tienen especial énfasis en suelos compactados, lo cual incluye una reducción drástica de la capacidad de infiltración del agua, el drenaje y la porosidad así como el incremento de la densidad aparente. Por su parte, la compactación del suelo es provocada principalmente por las operaciones mecanizadas como la cosecha, transporte y tratamientos agrotécnicos donde el peso de la maquinaria se transforma en mayor densificación de los suelos, daños a la cepa y la geometría de los surcos (Ahmed Chacón-Iznaga, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020). El objetivo del presente trabajo es determinar los principales efectos sobre el suelo y la cepa de la caña de azúcar como resultado de las actividades mecanizadas en la plantación cañera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio realizado tuvo lugar en el campo 2, con una extensión de 17,5 ha perteneciente a la UBPC "Máximo Gómez", ubicado en las coordenadas 22,4827° Norte y 79,8070° Oeste del municipio de Camajuaní, Villa Clara (Figura 1). La cual cuenta con una extensión de 203 ha dedicadas al cultivo de la caña de azúcar de la variedad Cuba 86-12 (C86-12), de amplia extensión en la isla y favorable adaptación a zonas con estrés hídrico, producción

drained soils (González R.M. *et al.*, 2011). The predominant soil in the field is brown with carbonates; with low stony index and undulating geography. Measurements were made 26 days after harvest, for which a KTP-2M harvester was used. As agrotechnical attention, the cultivation was carried out 16 days after harvest using the M-160 implement forming aggregates with MTZ-80 tractor. As part of the study, the determination of the microrelief basic on furrow geometry, cone index, soil moisture content and damage on the stumps was carried out, for which a total of 20 experimental points distributed diagonally in the field at 30 m of distance and faraway of the guardrail.

de retoños así como adaptable a suelos de mal drenaje (González R.M. *et al.*, 2011). En esta área predominan los suelos pardos con carbonato de baja pedregosidad y geografía ondulada. Las mediciones se realizaron 26 días después de la cosecha, para la cual se empleó una cosechadora KTP-2M. Como atención agrotécnica se realizó el cultivo de la calle a los 16 días de la cosecha, empleando el apero M-160 formando agregado con el tractor MTZ-80. Como parte estudio se realizó la determinación del microrelieve en base a la geometría de los surcos, el índice de cono, la humedad del suelo y los daños a la cepa, para lo cual se tomaron un total de 20 puntos experimentales distribuidos de forma diagonal en el campo a una distancia de 30 m entre ellos y separados de la guardarraya.



FIGURE 1. Location of field 2.  
FIGURA 1. Localización del campo 2.

For the measurements of the field microrelief, the profilometer of metal rods of 2 m long equipped with depth markers, 26 cm of separation between rods and height of 50 cm was used in order to determine the depth in furrow and street (Cruz Díaz *et al.*, 2015).

Para las mediciones del microrelieve del campo se empleó el perfilómetro de varillas metálicas de 2 m de alcance, una separación de 26 cm entre varillas y altura total de 50 cm para la determinación de la profundidad, las mismas están equipadas de señalizadores de profundidad (Cruz Díaz *et al.*, 2015).

The moisture content measurements were taken in the midpoint of the furrow, and near to the root zone in the ridge. At each point, four measurement were taken at depths of 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm (Figure 2).

Las mediciones de humedad se realizaron en el centro del surco, y próximo a la zona radicular en el camellón. En cada punto se tomaron cuatro réplicas a profundidades de 0-10, 10-20 y 20-30 cm (Figura 2).



FIGURE 2. Soil moisture sampling.  
FIGURA 2. Muestreo de la humedad del suelo.



Soil moisture was determined based on dry soil (% hbss) using the gravimetric method, which is based on the lost weight of a wet sample subjected at 105° C to the oven for 8 hours (Figure 3). The final weight of the sample was obtained using analytical balance under precision of 0.0001 g. The data obtained by the gravimetric method were processed using the software: StatGraphics ver. 5.1 for a confidence level of 95%. The following expression was used for calculation:

$$\%hbss = \text{Water} / \text{Pss} \cdot 100 \quad (1)$$

were:

Water, Lost water during dry, g;  
Pss, Dry weight soil, g.

La humedad se determinó en base al suelo seco (%hbss) mediante el método gravimétrico, el cual se basa en el peso perdido de una muestra húmeda sometida a la estufa a 105°C durante 8 horas (Figura 3), se empleó una balanza analítica de precisión 0,0001 g. Se procesaron los datos obtenidos por el método gravimétrico utilizando el software: StatGraphics versión 5.1, para un nivel de confianza del 95%.

Para el cálculo se empleó la siguiente expresión:

$$\% \text{ hbss} = \text{Agua} / \text{Pss} \cdot 100 \quad (1)$$

donde:

Agua, agua perdida, g;  
Pss, peso del suelo seco, g.



FIGURE 3. Drying of soil sampling.  
FIGURA 3. Secado de las muestras del suelo.

The penetration soil resistance was determined by the cone index, known as IC index, measurements were made in the midpoint of the furrow, and next to the root zone in the ridge. For each point, four measurements were made at depths of 0, 10, 20, and 30 cm, three replicates of each measurement were made. The direct reading penetrometer with conical tip of 1.3 cm<sup>2</sup> area were used, the penetration force was determined using the following expression:

$$IC = F / Ac \quad (2)$$

where:

ic, Cone index, Pa;  
F, Penetration stress, N;  
Ac, Frontal area of cone tip, m<sup>2</sup>.

The penetration stress (F) was determined by the following expression:

$$F = k \cdot \Delta x / 1000 \quad (3)$$

where:

k, Elastic constant of the penetrometer, 4,83 N/m;  
 $\Delta x$ , Sprint deformation, mm.

For mechanical effects on the sugarcane stumps, a total of 10 samples were selected in the field in correspondence with the selected experimental points. Pits arranged in a longitudinal orientation to the furrows with depth between of 50 cm were excavated, allowing the visualization of the root structure. The

La resistencia del suelo a la penetración se determinó mediante el índice de cono, las mediciones se realizaron en el centro del surco, y próximo a la zona radicular en el camellón. Para cada punto se realizaron cuatro mediciones a las profundidades de 0, 10, 20, y 30 cm, Se tomaron tres réplicas de cada medición. Para ello se empleó el penetrómetro de lectura directa y punta cónica con área de 1,3 cm<sup>2</sup>, la fuerza de penetración se determinó empleando la siguiente expresión:

$$IC = F / Ac \quad (2)$$

donde:

IC, índice de cono, Pa;  
F, Esfuerzo con que se realiza la penetración, N;  
Ac, Área frontal de la punta el cono, m<sup>2</sup>.

El esfuerzo de penetración (F) se determinó mediante la siguiente expresión:

$$F = k \cdot \Delta x / 1000 \quad (3)$$

donde:

k, Constante elástica del muelle del penetrómetro, 4,83 N/m;  
 $\Delta x$ , Lectura de la deformación del muelle, mm.

Para la determinación de los efectos mecánicos sobre las cepas de caña de azúcar, se seleccionaron un total de 10 muestras en el campo en correspondencia con los puntos experimentales seleccionados. Se excavaron calicatas dispuestas en orientación longitudinal a los surcos y profundidad de 50 cm, posibilitando la visualización de la

quantity of sprout was determined in the selected stumps and macroscopic examination was carried out, using digital images in order to determine the structural damage and vitality of the root system. The damaged stumps were sectioned in order to evaluate their internal development.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Results of soil compaction

Resistance to soil penetration showed an increase associated with the depth taken in the root zone of the stumps and in the street (Figure 4). However, this increase does not manifest in a similar way in both cases and for the different depths. In the root zone of the sprouts, the IC penetration resistance was 1.2 kPa on the surface and had a linear increase up to 20 cm depth, the increase being less between 20 and 30 cm until reaching the 3.5 kPa. This resistance behavior is justified by the lateral pressures, generated by the passage of the tires to which the ridge is subjected, compacting the soil in the root zone. These pressures are lower as the depth increases, which leads to less resistance of the soil just below the root zone being part of the results obtained with the modelling the effects of tires described by González et al. (2013). On the other hand, the resistance in the street was lower, as a consequence of the cultivation operation, the surface layer of the soil is separated, being divided by the mechanical action of the implement, the subsequent effect of water and heat, among other factors. This fact justifies the value of 0.8 kPa on surface, shows a slight increase to the depth of 10 cm. However, between 20 and 30 cm in depth the resistance increases in a linear way, showing a tensions accumulation, until reaching 3.2 kPa.

estructura de la raíz. A las cepas seleccionadas se le determinó la cantidad de brotes y se realizó un examen macroscópico mediante imágenes digitales con el objetivo de determinar los daños estructurales y vitalidad del sistema radicular. Se seccionaron además las cepas dañadas para evaluar su desarrollo interno.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados de la compactación del suelo

La resistencia a la penetración del suelo mostró un incremento asociado a la profundidad tomadas en la zona radicular de las cepas y en la calle (Figura 4). No obstante este incremento no se manifiesta de forma similar en ambos casos, ni para las diferentes profundidades. En la zona de la raíz de la cepa, la resistencia a la penetración IC fue de 1,2 kPa en la superficie y tuvo un incremento lineal hasta los 20 cm de profundidad, siendo menor el incremento entre los 20 y 30 cm hasta alcanzar los 3,5 kPa. Este comportamiento de la resistencia se justifica por las presiones laterales generadas por el paso de los neumáticos a las cuales está sometido el camellón, compactando el suelo en la zona radicular. Estas presiones son menores según aumenta la profundidad, lo que propicia menor resistencia del suelo justo debajo de la zona radicular y son parte de los resultados obtenidos con la modelación de los efectos de los neumáticos descritos por González et al. (2013). Por su parte la resistencia en la calle resultó menor, como consecuencia de la operación de cultivo, mediante el mismo se separa la capa superficial del suelo, fraccionándose por la acción mecánica del apero, el efecto posterior del agua y el calor, entre otros factores. Este hecho justifica el valor de 0,8 kPa en la superficie, luego muestra un ligero incremento hasta la profundidad de 10 cm. No obstante, entre 10 y 30 cm de profundidad la resistencia se incrementa de forma lineal, mostrando una acumulación de tensiones, hasta alcanzar los 3,2 kPa.

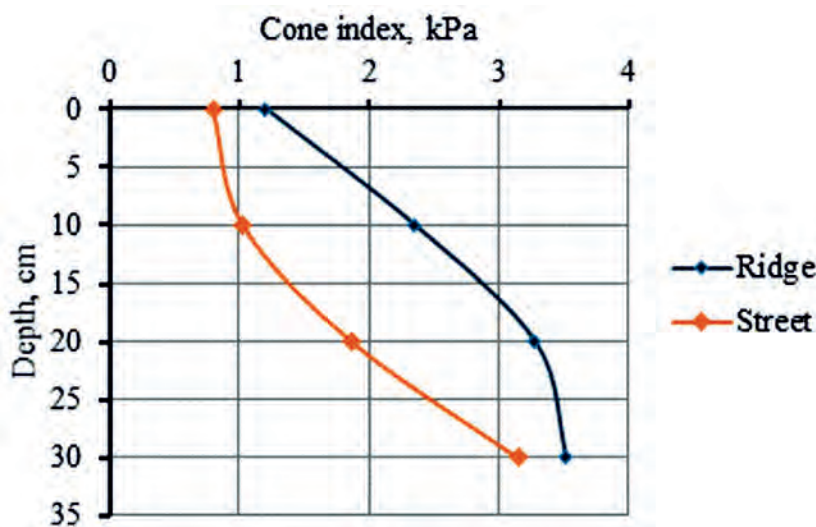


FIGURE 4. Cone index at different depths.  
 FIGURA 4. Índice de cono a diferentes profundidades.

### Variation in soil moisture

Soil moisture, taken on the ridge and the street, shows great variability with respect to depth as well as a difference in behaviour for both cases (Figure 5).

### Variación de la humedad del suelo

La humedad del suelo, tomada en la zona radicular de la cepa y en la calle, muestra una gran variabilidad respecto a la profundidad así como una diferencia de comportamiento para ambos casos (Figura 5).

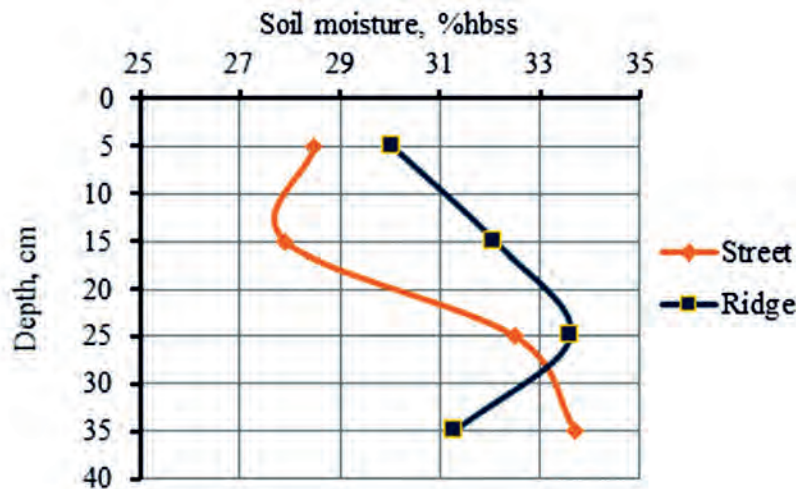


FIGURE 5. Soil moisture at different depths in the street and ridge.  
 FIGURA 5. Humedad del suelo a diferentes profundidades en la calle y la cepa.

The moisture of soil in the ridge was higher than the moisture in street in the surface of the furrow, this behaviour is sustained up to 28 cm deep, where the moisture in the street exceeds the moisture in the ridge. The moisture on the ridge close to stump is favoured by the accumulation of dry leaves and crop residues, which avoids the direct incidence of solar rays and constitutes one of the methods for the conservation and protection of soil according to Colombi y Keller (2019). A significant decrease in humidity is also shown after 25 cm of depth, reaching values of 31.2%. On the contrary, the exposure to the air and the sun from the street after mechanized cultivation, as well as the fragmentation of the aggregates, favours the reduction of surface humidity up to 15 cm deep, the water passes to lower strata increasing the humidity in a non-linear way up to 35 cm.

### Soil profile evaluation

As a result of profile measurements, the characteristic curves obtained in field were digitalized. Figure 6 shows one of the measurements made where micro-relief of the furrow and the ridge is shown. The profile obtained shows an irregular distribution, reaching values of 17.1 cm in maximum height and minimum of 4.9 cm in the median with respect to the bottom of the street, which is represented as a zero line. The irregularities of the profile on the street are result of the cultivation activity in this section the lifting of clods predominates, causing appreciable differences in depth. The furrow profile analysis showed that there is considerable variability in the geometry and height of the ridges in the average profile of the field. Figure 7 shows the graphic processing of the profile results in one of the sampling points, showing that in all cases the height values of the ridge are less than 25 cm for an average of 18 cm. Such conditions are linked to deficiencies for root development of the stumps due to insufficient nutrients, as well as allowing erosion by rain and wind in the area of the sprouts (Y. Betancourt Rodríguez, 2019; Awe *et al.*, 2020). Similarly,

La humedad superficial del suelo en la cepa resultó mayor que en la calle, con valores de 30 y 28,6% respectivamente, este comportamiento se mantiene hasta los 28 cm de profundidad, donde la humedad en la calle sobrepasa la humedad en la cepa, favorecida por la acumulación de hojas secas y residuos de la cosecha, lo que evita la incidencia directa de los rayos solares y constituye uno de los métodos para la conservación y protección del suelo (Colombi y Keller, 2019). Se muestra además una sensible disminución de la humedad después de los 25 cm de profundidad alcanzando valores de 31,2%. Por el contrario, la exposición al aire y el sol de la calle luego del cultivo mecanizado, así como la fragmentación de los agregados, propicia la reducción de la humedad en la superficie hasta los 15 cm de profundidad, el agua pasa a estratos inferiores aumentando así la humedad de forma no lineal hasta los 35 cm.

### Evaluación del perfil de los surcos

Como resultado de las mediciones del perfil de los surcos, se elaboraron de forma digital las curvas que caracterizan los mismos. En la Figura 6 se muestra una de las mediciones realizadas donde se aprecia el microrelieve del surco y el camellón. El perfil obtenido muestra una distribución irregular, alcanzando valores de 17,1 cm de altura máxima y mínimo de 4,9 cm en el camellón respecto al fondo de la calle representada como línea cero. Se muestran además las irregularidades del perfil de la calle como resultado de la labor de cultivo, en esta sección predomina el levantamiento de terrones provocando apreciables diferencias de profundidad.

El análisis del perfil de los surcos mostró que existe una considerable variabilidad en cuanto a la geometría y la altura de los camellones en el perfil promedio del campo. En la Figura 7 se muestra el procesamiento gráfico de los resultados del perfil en uno de los puntos de muestreo, evidenciando que en todos los casos los valores de altura del camellón son inferiores a 25 cm para un promedio de 18 cm. Tales condiciones están vinculadas a deficiencias para el desarrollo radicular de los brotes por insuficiencia de nutrientes, así como posibilita la erosión por la lluvia y el viento en la zona de la cepa (Y. Betancourt Rodríguez, 2019; Awe *et al.*, 2020). De forma similar el prome-



the average height of all the profile measurements made did not exceed 25 cm, maintaining the irregular behaviour, both in the furrow and in the ridge.

dio de la altura de todas las mediciones de perfil realizadas no rebasó los 25 cm manteniéndose el comportamiento irregular tanto en la zona del surco como en el camellón.

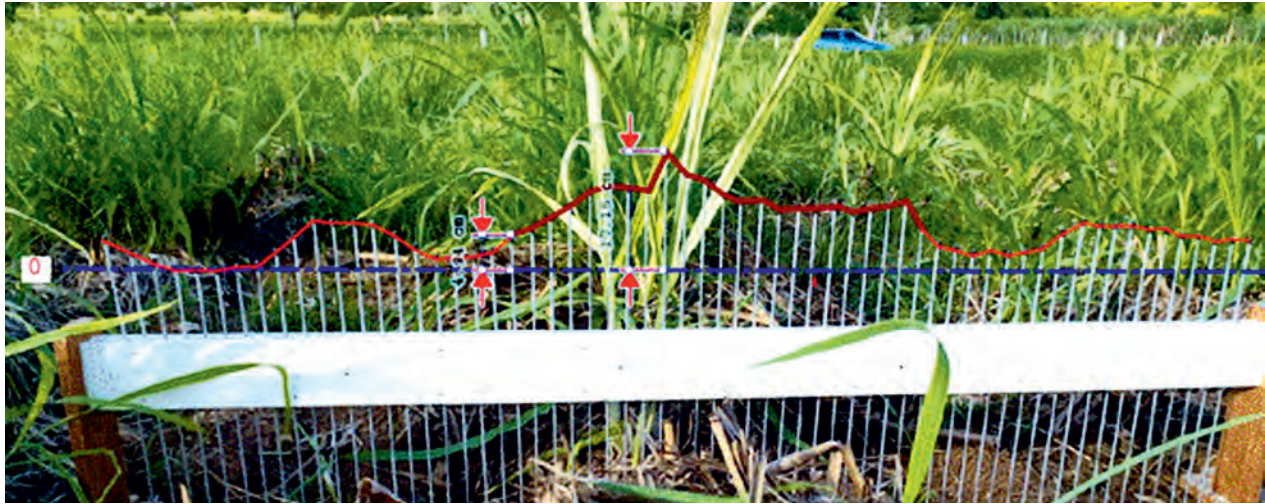


FIGURE 6. Soil profile measurement.  
FIGURA 6. Medición del perfil del surco.

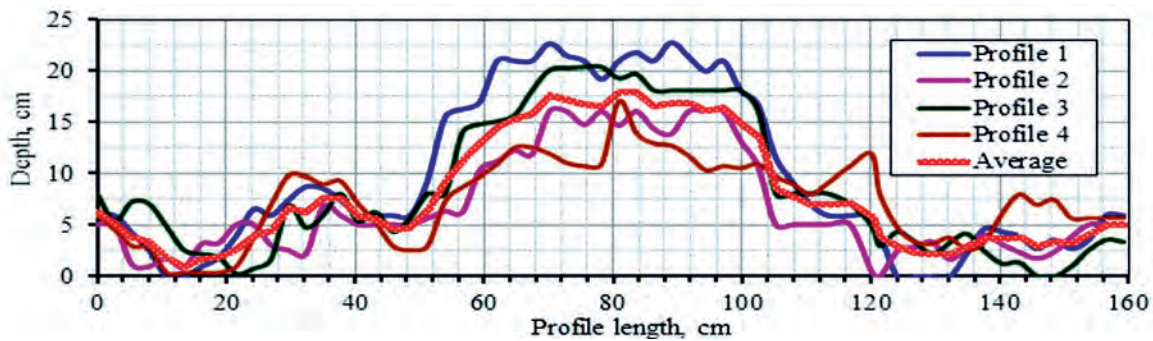


FIGURE 7. Digital furrow profile.  
FIGURA 7. Procesamiento del perfil de los surcos.

### Effects on sugar cane stumps

In the studied samples, a maximum depth of the main roots of 45 cm was obtained, although only up to 30 cm was sufficient vitality and quantity (Figure 8a). The presence of stumps with low foliar development were also identified, representing 8,2% of the study area, which showed severe limitations of the root zone (Figure 8b). On the other hand, the secondary or capillary roots (Figure 9a) show a low development in the damaged stumps, which mean a deficient suction process of water and nutrients from the soil. These stumps are characterized by only having between one and three sprouts, while the stumps in better conditions have between six and twelve sprouts and a better development of the root zone is observe.

Finally, the stumps with severe limitations in their development showed insufficient root volume, caused mainly by the detachment from the soil, because of the direct contact with mechanized tools in cultivation activities or lateral pressures during harvest. Figure 9b shows a sample of the collected stumps, where the effects of internal dry up is appreciated, this process ending with the eventual death of the stump.

### Efectos sobre la cepa de la caña

En las muestras estudiadas, se obtuvo una profundidad máxima de las raíces principales de 45 cm, aunque solo hasta 30 cm se encontró suficiente vitalidad y cantidad de las mismas (Figura 8(a)). Se identificaron además la presencia de cepas con bajo desarrollo foliar, representando el 8,2% del *área de estudio*, las cuales mostraron severas limitaciones de la zona radicular (Figura 8(b)). Por su parte, las raíces secundarias o capilares mostradas en la Figura 9(a), muestran un bajo desarrollo en las cepas dañadas, lo que propicia un deficiente proceso de succión del agua y los nutrientes del suelo. Estas cepas se caracterizan por solo tener entre uno y tres brotes, en tanto las cepas en mejores condiciones cuentan entre seis y doce brotes y se evidencia un mayor desarrollo de la zona radicular.

Finalmente, las cepas con severas limitaciones en su desarrollo mostraron un insuficiente volumen radicular, causado por el contacto directo con los medios de labranza en las actividades de cultivo, las presiones laterales de los neumáticos y el aplastamiento durante la cosecha. La Figura 9b muestra un ejemplar de las cepas recolectadas donde se aprecian los efectos de desecado interior que propicia la eventual desaparición de la misma.





FIGURE 8. Stumps with adequate development (a); stumps with deficiencies (b).  
 FIGURA 8. Cepas con desarrollo adecuado (a); cepas con insuficiencias (b).

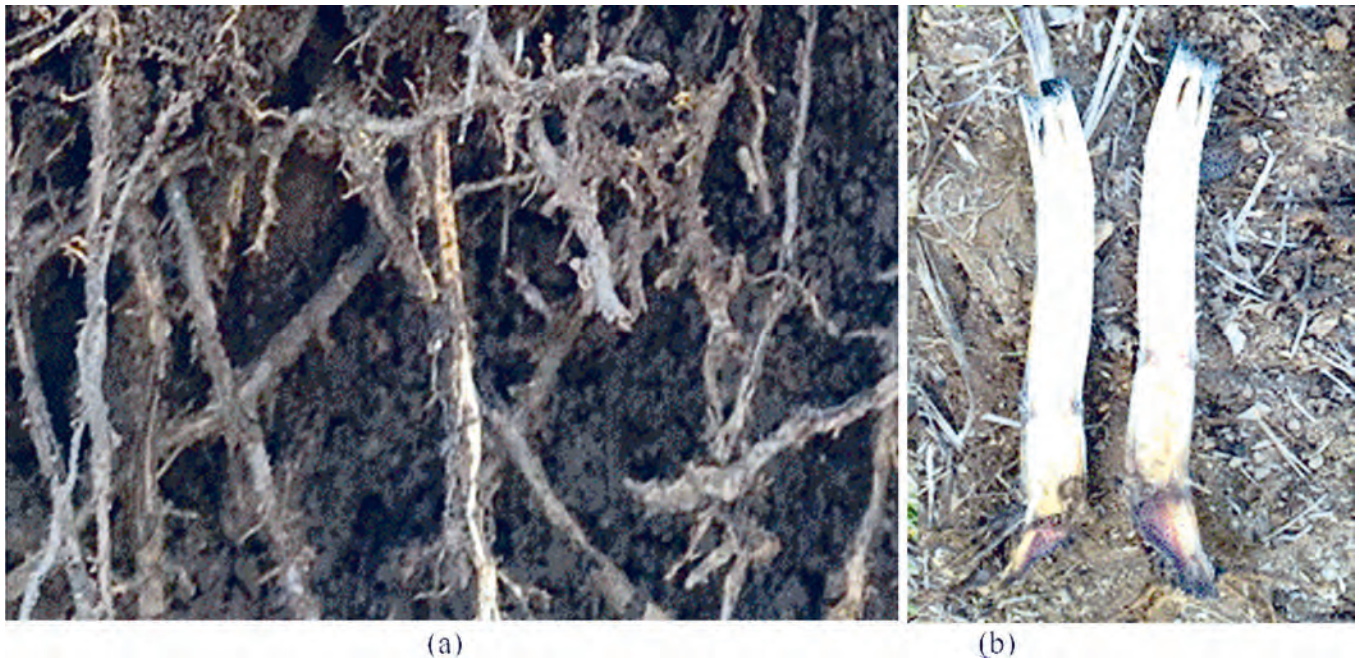


FIGURE 9. Detail of root system (a), section of damaged stumps (b).  
 FIGURA 9. Zona radicular de las cepas de caña (a), sección de cepas dañadas (b).

## CONCLUSIONS

- Penetration soil resistance, showed values of 0.8 and 1.2 kPa on the surface of the street and the area of the stumps respectively, in both cases the IC increases with the depth of the soil up to 30 cm, reaching values of 3.2 and 3.5 kPa. Resistance in the street was lower than the ridge as a result of mechanized cultivation.
- Soil moisture in the ridge of the furrow was higher than humidity in the street up to 25 cm deep, with values of 28.6 and 30% respectively on the surface, favored by the accumulation of crop residues.

## CONCLUSIONES

- La resistencia a la penetración del suelo, mostró valores de 0,8 y 1,2 kPa en la superficie de la calle y de la zona de la cepa respectivamente, en ambos casos el IC aumenta con la profundidad del suelo hasta los 30 cm, alcanzando valores de 3,2 y 3,5 kPa. La resistencia en la calle fue menor en todo el perfil como resultado del cultivo mecanizado.
- La humedad del suelo en la cepa resultó mayor a la humedad en la calle hasta los 25 cm de profundidad, con valores de 28,6 y 30% respectivamente en la superficie, favorecida por la acumulación de residuos de cosecha.



- The analysis of soil profile of the furrows showed a considerable variability in geometry and height of the ridges, which do not exceed 25 cm and irregularities in the furrow street related to soil cultivation.
- The radical system of the stumps showed a maximum depth of the main roots of 45 cm, with lack of vitality and their quantity in the damaged stumps, while the secondary or capillary roots show insufficient development.
- El análisis del perfilado de los surcos mostró que existe una considerable variabilidad en cuanto a la geometría y la altura de los camellones, los cuales no rebasan los 25 cm de altura, así como una variación en el perfil de la calle como consecuencia de las operaciones de cultivo.
- La zona radicular de las cepas mostró una profundidad máxima de las raíces principales de 45 cm, con insuficiente vitalidad y cantidad de las mismas en cepas dañadas por el contacto con aperos de labranza y neumáticos, en tanto las raíces secundarias o capilares muestran un insuficiente desarrollo.

## REFERENCES

- AGUILERA ESTEBAN, D. A.; Z. M. DE SOUZA; C. A. TORMENA; L. H. LOVERA; E. DE SOUZA LIMA; I. N. DE OLIVEIRA y N. DE PAULA RIBEIRO: "Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest", *Soil and Tillage Research*, vol. 187 60-71, 2019. ISSN:0167-1987.
- AHMED CHACÓN-IZNAGA, M. R.-O., EDITH AGUILA-ALCANTARA, A. COLÁS, D. GONZÁLEZ, D. L. ALVAREZ, J. BAERDEMAEKER, W. SAEYS: "Comparación de firmas espectrales vis-NIR de suelos cultivados con caña de azúcar (*Sacharum sp.*) en la provincia de Villa Clara", *Centro Agrícola*, vol. 46 (4): 13-20 2019. ISSN:0253-5785.
- AWE, G. O.; J. M. REICHERT y E. FONTANELA: "Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage", *Soil and Tillage Research*, vol. 196 14-20, 2020. ISSN:0167-1987.
- COLOMBI, T. y T. KELLER: "Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction - A plant eco-physiological perspective", *Soil and Tillage Research*, vol. 191: 156-161, 2019. ISSN:0167-1987.
- CRUZ DÍAZ, M.; M. HERRERA SUÁREZ; A. TABOADA CRISPI y L. GARCÍA PEDRAZA: "Determinación de la geometría del perfil del suelo mediante el método de tratamiento de imágenes", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24 31-35, 2015. ISSN:2071-0054.
- EMMET-BOOTH, J. P.; N. M. HOLDEN; O. FENTON; G. BONDI y P. D. FORRISTAL: "Exploring the sensitivity of visual soil evaluation to traffic-induced soil compaction", *Geoderma Regional*, vol. 20: 36-43, 2020. ISSN:2352-0094.
- GONZÁLEZ, O.; M. HERRERA SUÁREZ; C. E. IGLESIAS y E. LÓPEZ: "Análisis de los modelos constitutivos empleados para simular la compactación del suelo mediante el método de elementos finitos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 22 (1): 75-80, 2013. ISSN:2071-0054.
- GONZÁLEZ R.M., A. R., TUERO S., ACOSTA D., PARDO L., CASANOVA Y., GONZÁLEZ J.R., MANRESA M., G. R. DOMÍNGUEZ N., SÁNCHEZ W., DE LA ROSA L., HERNÁNDEZ G., LÓPEZ G., LORA N., y J. I. GÁMEZ H., JORGE H., MESA J.M., RODRÍGUEZ M. Y SARMIENTO N.: "Censo de variedades de caña de azúcar cultivadas en Cuba al cierre del 2010", *ATAC*, vol. 72: (3): 9-13, 2011. ISSN:ISSN 0138-7553.
- MARTÍNEZ, R.; M. ACEVEDO; M. R. YANES y O. GONZÁLEZ-CUETO: "Indicadores de explotación de la cosechadora de caña de azúcar CASE IH Austoft 8800", *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 10 ((1)): 28-32, 2020. ISSN:2227-8761.
- MATOS, N.; C. IGLESIAS y E. GARCÍA: "Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha - transporte - recepción de la caña de azúcar en la Empresa Azucarera Argentina", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23 (1): 27-33, 2014. ISSN:2071-0054.
- MOREJÓN, Y.; R. GONZÁLEZ; A. GARCÍA; E. VEGA y J. PÉREZ: "Influencia de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en la compactación del suelo", *Revista Ing Agrícola*, vol. 6 (1): 33-38, 2016. ISSN:2227-8761.
- R. PRADO; MIGUEL HERRERA SUÁREZ; K.R. RAMÍREZ; M LUCAS; C. JARRE y J. P. D. CORCHO: "Factores limitantes para la mecanización de la caña de azúcar en la provincia Manabí, Ecuador", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Cuba*, vol. 27(4): 1-11 2018. ISSN:2071-0054.
- Y. BETANCOURT RODRÍGUEZ, D. P.: "Asistencia técnica de la labranza en el control de arvenses en caña de azúcar", *Revista Ingeniería Agrícola, Cuba*, vol. (9(4): 34-41): 2019. ISSN:2227-8761.

*Elvis López-Bravo*, Profesor Titular, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: [elvislb@uclv.edu.cu](mailto:elvislb@uclv.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2285-3413>

*Omar González-Cueto*, Profesor Titular, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: [omar@uclv.edu.cu](mailto:omar@uclv.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4296-1726>

*Luis Manuel Hernández-Pérez*, profesor, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, e-mail: [elvislb@uclv.edu.cu](mailto:elvislb@uclv.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4399-3586>

*Miguel Herrera-Suárez*, Profesor Titular, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador. e-mail: [miguelhs2000@yahoo.com](mailto:miguelhs2000@yahoo.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4567-5872>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.