



Effects of Mechanized Harvesting of Sugarcane over the Soil

Efectos de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar sobre el suelo

Dr.C. Elvis López-Bravo^I, Ing. Eduardo Rafael Saucedo-Levi^{II}, Dr.C. Omar González-Cueto^I,
Dr.C. Miguel Herrera-Suárez^{IV}, Dr.C. Yoel Betancourt-Rodríguez^{III}

^I Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{II} Delegación Provincial de la Agricultura, Departamento de Mecanización, Santi Spíritus, Cuba.

^{III} Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro-Villa Clara), Ranchuelo, Villa Clara, Cuba.

^{IV} Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

ABSTRACT. The present work is focused on the effects on the soil due to the traffic of sugarcane harvesting machines. The investigation took place in areas of three different units of sugarcane production in the UEB “Héctor Rodríguez”, located on the north coast of Villa Clara. The CASE IH 8 800 harvesting machine and self-dumping car pulled by the Maxxum CASE 150 tractor were used for the study. The main characteristics of the predominant soils were determined, as well as the variations of soil micro relief, the bulk density and the soil moisture. The results showed soil modifications due to the traffic of the equipment during the harvest, highlighting the effect of the tractor and self-balancing aggregate. The machines introduce considerably modifications in field profile, by moving over and through the furrow, affecting the root zone. Dry bulk density values characteristic of heavy clay soils, were found, increasing this value after the harvesting machinery passing. On the other hand, soil moisture of 64.0% became in serious traffic problems for tractor self-balancing aggregates and causing traffic jam.

Keywords: Tillage, Compaction, Machinery, Moisture, Traffic.

RESUMEN. El presente trabajo aborda el efecto sobre el suelo del paso del sistema de máquinas para la cosecha de caña de azúcar (*saccharum officinarum*). La investigación tuvo lugar en áreas de tres unidades de producción de caña, de la UEB Héctor Rodríguez, en la costa Norte de Villa Clara. Se emplean para el estudio la cosechadora CASE IH 8 800 y el autobasculante tirado por el tractor Maxxum CASE 150. Se determinaron las principales características de los suelos predominantes, así como las variaciones del microrrelieve, la densidad aparente y los valores de humedad. Los resultados demostraron afectaciones en el suelo debido al tráfico de los equipos durante la cosecha, destacándose el efecto del agregado tractor-autobasculante que afecta considerablemente el microrrelieve por desplazarse sobre el cantero y afectar las cabeceras de los surcos por el viraje y parqueo inadecuado de los equipos. Se encontraron valores de densidad aparente característicos de los suelos arcillosos pesados y un aumento considerable de este valor debido al paso de la maquinaria. Por su parte los niveles localizados de humedad de 64,0%, provocaron serios problemas de trafabilidad para los agregados tractor-autobasculante y ocasionando reiterados atascaderos.

Palabras clave: Labranza, compactación, maquinaria, humedad, tráfico.

INTRODUCTION

In Cuba there are around 257,700 ha with heavy clay soils and poor drainage problems dedicated to the cultivation

INTRODUCCIÓN

En Cuba existen alrededor de 257 700 ha con suelos arcillosos pesados y problemas de mal drenaje dedicados al cultivo

^I Author for correspondence: Elvis López Bravo, e-mail: elvislb@uclv.edu.cu <https://orcid.org/0000-0002-2285-3413>

Received: 09/05/2021.

Approved: 12/11/2021.

of sugarcane (37%). Within these soils are those that have specific edaphoclimatic characteristics, very susceptible to the over-dampening, created by the rainy periods which require the phytotechnical attention of the cane, through a differentiated management in the process of its harvest. Areas with these characteristics have been called high humidity conditions (Cid *et al.*, 2011). The harvest is one of the most important stages in the production of sugarcane. Because of that, it requires a high degree of organization and coordination of all the factors involved on it, from the field to the industry (Rodríguez y Valencia, 2012; Aguilera Esteban *et al.*, 2019).

There are several basic principles for a good harvest, among them: harvesting the cane at maximum level of maturity, achieving good rates of efficiency, minimum fuel consumption, high productivity of the harvesting and minimum damage in the stump (Rodríguez *et al.*, 2002; Matos *et al.*, 2014; Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019).

Soil compaction is one of the factors that increases soil degradation, being the most worrying of global environmental problems. Compaction is one of the causes of the fall in agricultural yields, mainly for the reduction of the sprouts, for this reason it is considered one of the main problems to be faced in sugarcane agriculture. The wet soil is much more susceptible to compaction than dry soil. Between factors that affect the degree of soil compaction, moisture is considered the most important (García Ruiz *et al.*, 2010; Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020).

Compaction in agricultural soils is a problem that leads to the high use of energy in field labors, consumption in machines parts and land degradation, causing the loss of their properties as well as low rates of production yield (Colombi & Keller, 2019; Awe *et al.*, 2020). Soil compaction takes place when pressure is applied to the surface, as a result of trampling by animals and people and the inadequate use of equipment as tractors, especially when the soil is wet. Compaction causes changes in the physical properties of the soil, increasing resistance to penetration, dry bulk density and a reduction in porosity (González *et al.*, 2013; Mesa *et al.*, 2016).

Considering the high importance of sugarcane production in the economy of the northern area of Villa Clara Province, both, in yield and in cultivated areas, which are characterized by heavy soils with poor drainage and adverse harvest conditions due to high moisture, the objective of this research is to determine the effects of traffic of machinery during sugarcane harvesting on the soils of the north coast of Villa Clara.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in “Héctor Rodríguez” Base Enterprise Unit, in three sugarcane production units called: Carlos Perera, Antonio Bacallao and Monte Lucas, located in the sugar cane massif in north coast of Villa Clara Sugar Enterprise. The study was performed in sugarcane plantations in rainfed land conditions. The area under study is characterized by predominant Oxisol soils with slopes less than 2% and little effective depth (less than 20 cm), also with compact consistency,

de la caña de azúcar. Dentro de dichos suelos se encuentran los que tienen características edafoclimáticas específicas, muy susceptibles al sobre-humedecimiento creado por los períodos lluviosos, que requieren de la atención fitotécnica de la caña, mediante un manejo diferenciado en el proceso de su cosecha. A las áreas con estas características se les ha denominado áreas con condiciones de alta humedad (Cid *et al.*, 2011).

La cosecha es una de las etapas de mayor importancia en la producción de caña de azúcar. Es por ello que como proceso exige un alto grado de organización y coordinación de todos los factores que en ella intervienen, desde el campo hasta el basculador (Rodríguez y Valencia, 2012; Aguilera Esteban *et al.*, 2019). Varios son los principios básicos para una buena cosecha, entre ellos: cosechar la caña en su máximo punto de madurez, cumplir los índices de eficiencia, gasto de combustible, pérdidas, limpieza y productividad y reducir al mínimo los daños a la cepa (Rodríguez *et al.*, 2002; Matos *et al.*, 2014; Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019).

La compactación del suelo que es uno de los factores que más contribuyen a su degradación, el más preocupante de los problemas ambientales globales. La compactación es una de las causas de la caída de los rendimientos agrícolas, principalmente en los retoños; por lo que se le considera uno de los principales problemas que hay que enfrentar en la agricultura cañera. El suelo húmedo es mucho más susceptible a la compactación que el suelo seco. De los factores básicos que más afectan el grado de compactación del suelo, la humedad es el más importante (García Ruiz *et al.*, 2010; Guimarães Júnnyor *et al.*, 2019; Emmet-Booth *et al.*, 2020).

La compactación en los suelos agrícolas es un problema que conlleva a la utilización de energía en las labores, alto consumo de recursos y la degradación del suelo, provocando la pérdida de sus propiedades y bajas tasas de rendimiento en la producción (Colombi y Keller, 2019; Awe *et al.*, 2020). Dicho factor ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del mismo, como resultado de pisoteo de animales, personas y la inadecuada utilización de equipos como tractores, especialmente cuando el suelo está húmedo. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración, la densidad aparente, provocando una reducción de la porosidad (González *et al.*, 2013; Mesa *et al.*, 2016).

Considerando la importancia del cultivo de la caña en la zona norte de la provincia de Villa Clara tanto en rendimiento como en área cultivada, las cuales tienen lugar en suelos pesados que se caracterizan por mal drenaje y condiciones de cosecha adversas por la elevada humedad el presente trabajo se propone como objetivo determinar los efectos sobre el suelo relacionados con el paso del sistema de máquinas durante la cosecha de la caña de azúcar en ésta zona geográfica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Héctor Rodríguez, en tres Unidades Básicas de Producción Cañera (UBPC): Carlos Perera, Antonio Bacallao y Monte Lucas, situadas en el macizo cañero de la costa norte de Villa Clara. Los estudios se realizaron en plantaciones de caña en condiciones de secano. Los suelos de la zona en estudio son del tipo Oxisol, con pendientes

poor drainage, not stoniness and no-rocky scarce concretions (Cid *et al.*, 2011).

Due to these characteristics this soils are prone to maintain high humidity in rainy stages that makes harvesting difficult and predisposes to structural damage as well as variation of profile of the furrows. The machinery that took part in the sugarcane harvest were the CASE IH 8 800 harvester and the self-dumping car pulled by the Maxxum Case IH 150 Tractor (Figure 1).

inferiores al 2% y profundidad efectiva menor a 20 cm, de consistencia compacta y deficiente drenaje, propensos a mantener en etapas lluviosas una alta humedad. Se caracterizan además por un bajo índice de pedregosidad (Cid *et al.*, 2011). Los equipos que participaron en la cosecha de la caña en las zonas evaluadas fueron la cosechadora CASE IH 8 800 y el remolque autobasculante tirado por el Tractor Maxxum Case IH 150 (Figura 1).



FIGURE 1. Machinery used in sugarcane harvest.
FIGURA 1. Cosechadora y medios de transporte.

The moisture based on dry soil (hbss)%, was determined by the gravimetric method. Soil samples with a depth of 10, 20 and 30 cm were taken in the center of the furrow and in the ridge before harvest. The treatment of the samples in the laboratory was carried out in accordance with Cuban Standard NC 3447:2003.

The variation of soil profile was determined before and after the transit of the machinery, using a spirit level and a soil profilometer with divisions in the horizontal plane every 5 cm and appreciation in the measurement in the vertical plane of 1 mm. The evaluations were made in a total width of 3.20 m, from the center of the ridge. Five profilometry measurements were made per field to 20 m from the edges, to avoid the areas with the greatest effects caused by the turn and the traffic of the machinery during the harvest. In addition, damages related to the transit of trucks and trailers within the field were evaluated based on the landslide and skidding.

The Chamfer Cylinder method was used to determine the soil dry bulk density. Soil samples were taken in the center of the furrow and in the center of the ridge before and after the passage of the machinery, at depths of 10, 20 and 30 cm using a 5 cm high and 5 cm diameter cylinder. Samples were dried by oven at a constant temperature of 105° C, their mass was determined using a balance with a division value of not more than 0.1 g until constant values of the soil masses were obtained. The calculation procedure was performed according to Cuban Standard NC 3447:2003.

Como área experimental se tomó una parcela rectangular de 6.0 ha (2.0 ha de ancho y 3.0 ha de largo), separadas a 20 m de los bordes del campo para evitar las afectaciones causadas por el viraje y el tráfico de la maquinaria. Para realizar las mediciones de humedad, perfil del suelo y densidad aparente, se tomaron 5 puntos experimentales, distribuidos de forma uniforme en la diagonal del área experimental, conforme a las metodologías establecidas en la Norma Cubana NC 3447-2003. Se evaluaron además los daños relacionados con el tránsito del tractor y el remolque referentes al desprendimiento del suelo y el patinaje.

La humedad en base al suelo seco (hbss)%, se determinó por el método Gravimétrico antes de la cosecha en las tres parcelas. Para ello se tomaron seis muestras de suelo en el centro del surco y en el camellón en cada punto experimental a una profundidad de 0-10, 10-20 y 20-30 cm, para un total de 12 muestras. El muestreo se realizó tres horas antes de la cosecha, posteriormente se realizó el traslado al laboratorio según lo establecido por la NC 3447-2003.

La variación del perfil del suelo se determinó solamente en la parcela de la UBPC Carlos Perera, la misma tuvo lugar: antes del paso de la cosechadora, después del paso de la cosechadora y después del paso del tractor con el autobasculante, realizando para ello cinco mediciones en cada punto experimental, se empleó para ello un 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. Las mediciones se realizaron en un ancho total de 3,20 m. Para la determinación de la densidad aparente se utilizó el método del Cilindro Biselado. Para ello se tomaron seis muestras de suelo en el centro del surco y el camellón antes y después del paso de la maquinaria, a profundidades de 0-10,

RESULTS AND DISCUSSION

Variations in the Soil Profile

The profiling of the soil in the fields under studied showed variations due to the traffic of the different equipment involved in the harvest and transport of sugarcane. As shown in Figure 2, in the microrelief measurements before harvesting, height variations are defined between the furrow and ridge with an average value of 8.13 cm, in the same way the width of the furrow is defined with an average of 59.6 cm. These values are partially adjusted to the agrotechnical demands of the crop and allow drainage during the rainy season, which is especially important in the study area. As shown in profile B of Figure 2, the pass of the harvester does not produce significant deformations in the geometry of the ridge, while the machinery passes over the furrows, showing average sinking of 2.8 cm which does not affect its structure. In this sense, the harvester was able to move satisfactorily in all the conditions studied without jam, showing low values of pressures over the soil.

Finally, as a result of intermediate transport within the sugarcane field, the height of the ridge is reduced in the soil profile with an average value of 3.8 cm from the initial value and the depth of the furrow is maintained at constant values. This is justified before the increase in the contact area between the tire and the sides of the ridge which reduces the specific pressure, effect similar to those obtained by other authors (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez & Valencia, 2012; Mesa *et al.*, 2016).

10-20 y 20-30 cm en cada punto experimental, utilizando para ello un cilindro de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro. Se procedió al secado de las muestras mediante una estufa a una temperatura constante de 105 °C, determinándose su masa con la utilización de una balanza con valor de división no mayor que 0,1 g hasta obtener valores constantes de las masas de suelo (NC 3447-2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variaciones en el perfil del suelo

El perfilado del suelo en la parcela estudiada mostró variaciones debido al tráfico de los diferentes equipos que intervienen en la cosecha y transporte de la caña. Como se muestra en la Figura 2, en las mediciones del microrelieve del suelo antes de la cosecha se definen variaciones de altura entre el surco y el camellón con un valor promedio de 8,13 cm, de igual modo se define el ancho del surco con un promedio de 59,6 cm. Estos valores se ajustan de forma parcial a las demandas agrotécnicas del cultivo y posibilitan el drenaje durante la estación lluviosa lo que resulta especialmente importante en la zona de estudio.

Como se muestra el perfil B de la figura, el pase de la cosechadora no produce deformaciones significativas en la geometría del camellón, en tanto la misma se desplaza sobre los surcos, los cuales muestran valores promedio de hundimiento de 2,8 cm lo que no afecta la estructura del mismo. Por su parte, la máquina cosechadora fue capaz de desplazarse satisfactoriamente en todas las condiciones estudiadas sin atascamientos.

Finalmente, como consecuencia del paso del tractor y el remolque dentro del campo, en el perfil del suelo se reduce la altura del camellón con un valor promedio de 3,8 cm respecto al valor inicial y se mantiene en valores constantes la profundidad del surco, esto se justifica ante el aumento del área de contacto entre el neumático y los laterales del camellón lo que reduce la presión específica, similar a lo obtenido por otros autores (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2012; Rodríguez y Valencia, 2012; Mesa *et al.*, 2016).

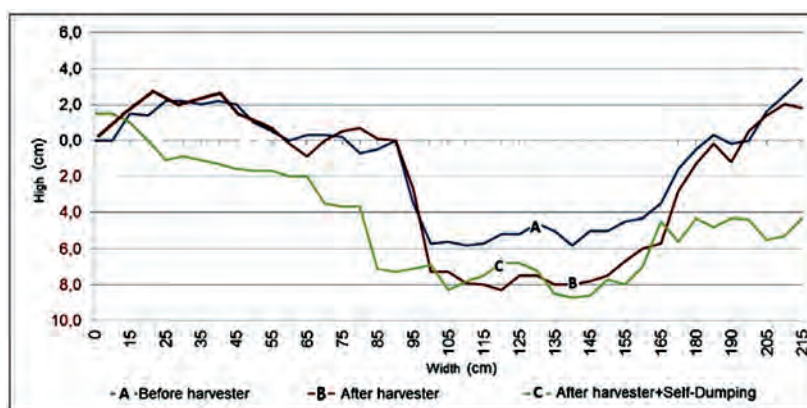


FIGURE 2. Variations of soil profile in the UBPC Carlos Perera.

FIGURA 2. Variaciones promedio del perfil del suelo.

Variations in soil profiling demonstrate the process of soil compaction and of modification of the furrow geometry of the plantation. In this process, the machinery for cutting and for intermediate transport of the sugarcane take part. However, the greatest incidence is by the tractor with the self-dumping car as a result of the dimensions of its trail that do not adjust to the

Las variaciones del perfilado del suelo demuestran el proceso de compactación de la capa superficial del suelo y modificación de la geometría de la plantación. En este proceso inciden tanto los medios para el corte como el transporte intermedio de la caña, no obstante, la mayor incidencia la tiene el tractor con el remolque autobasculante, como consecuencia de las dimensiones de su trocha que no se ajustan

furrow width, passing over part of the planted area. This fact affects the germination of the cane shoots mainly by the high pressures which are subjected the roots, according to studies of Aguilera Esteban *et al.* (2019).

Damages were also found in the headwaters of the furrows due to the turning and parking of the different equipment involved in the mechanized harvest. When this procedure is reiterative during harvest, it causes total local destruction of the entire structure of the furrows.

Variations in Soil Moisture

The soil moisture of the different UBPC (Figure 3) shows an increase in depth for the three cases under study, all were below 65% at three levels of depth; considering this value as the upper limit of moisture for clay soils (Rodríguez, 2015), and for these conditions, machinery for harvesting and sugarcane transportation must be able to traffic into the field, according to the traffic requirements.

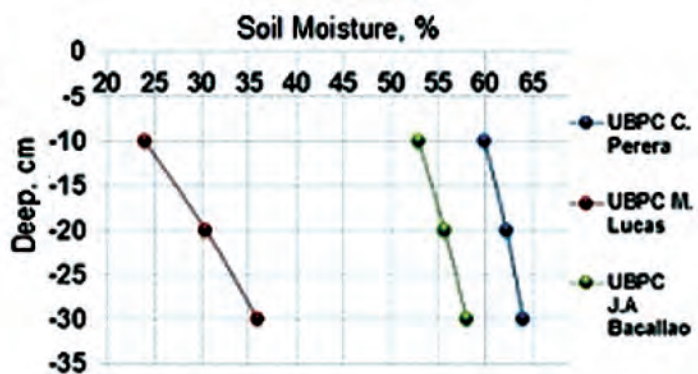
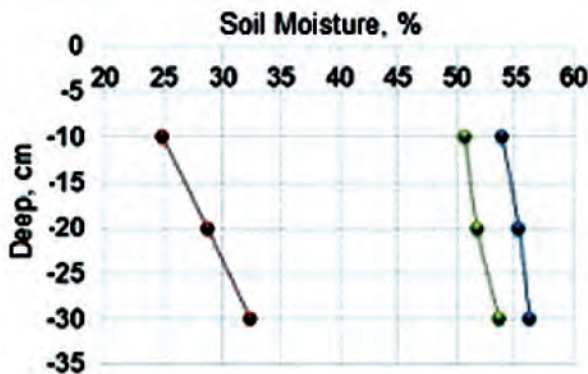


FIGURE 3. Soil moisture versus depth during harvest.
 FIGURA 3. Humedad del suelo antes de la cosecha.

Under the three conditions evaluated, the CASE IH 8800 harvester was able to move satisfactorily, due to the running mats system, which generates low pressures on the ground. However, this was not the case for the aggregate formed by the Maxxum CASE tractors with the self-damping car due to the increase of the moisture present in some areas of the field, resulting in jam situation (Figure 4). This phenomenon took place interchangeably in all the fields studied with major intensity in the fields with greater soil moisture.

al ancho de siembra, transitando sobre parte del camellón plantado. Este hecho afecta considerablemente la germinación de los retoños de la caña debido fundamentalmente a las altas presiones a que son sometidas según estudios de Aguilera Esteban *et al.* (2019).

Se constataron además daños ocasionados en las cabeceras de los surcos debido al viraje y aparqueamiento de los diferentes equipos que participan en la cosecha mecanizada. Este hecho, cuando se convierte en una práctica habitual durante la cosecha ocasiona destrucción localizada de la totalidad de la estructura de los surcos.

Variaciones en la humedad del suelo

La humedad de los suelos en las diferentes unidades productivas (Figura 3), reflejó un aumento respecto a la profundidad para los tres casos de estudio y todos estuvieron por debajo del 65% en los tres niveles de profundidad; siendo este el límite superior de humedad para suelos arcillosos (Rodríguez, 2015). Para estas condiciones deben ser capaces de traficar los diferentes medios que intervienen en la cosecha y transporte de la caña, según sus exigencias de traficabilidad.

En las tres condiciones evaluadas, la cosechadora CASE IH 8800 fue capaz de desplazarse satisfactoriamente, debido al sistema de rodaje por esteras, el cual genera bajas presiones sobre el suelo. Sin embargo, no se produjo el mismo comportamiento para el caso del agregado formado por los tractores Maxxum CASE con el autobasculante debido al incremento de los valores de humedad presentes en zonas puntuales del campo, dando como resultado la aparición de atascaderos (Figura 4). Este fenómeno tuvo lugar indistintamente en todos los campos estudiados con mayor intensidad en los campos con mayor humedad del suelo.



FIGURE 4. Intermediate transport in jam condition.
 FIGURA 4. Zona del atascamiento del transporte intermedio.

The prints produced by the tires caused serious deformations in the soil profile and, as a consequence, in the development of the sugarcane plant. For recovery, the field needs additional tasks that increase costs reducing productivity.

Las huellas producidas por el atascamiento provocaron serias deformaciones en el perfil de suelo y como consecuencia en el desarrollo posterior del cultivo; para cuya recuperación son necesarias diferentes labores adicionales que incrementan los costos y limitan la productividad.

Variations in the Soil Dry Bulk Density

Variations regarding soil dry bulk density before and after the transit of the machinery used in the sugarcane harvest showed values between 0.8 and 1.38 (g/cm³), where highest values of soil densification were found at the UBPC Monte Lucas (Figure 5). The UBPC Carlos Perera and J.A Bacallao showed a slight increase with respect to the depth in the first 20 cm before the harvest, both in the ridge and in the furrow. The UBPC Monte Lucas, on the other hand, showed a considerable increase of 1.33 (g/cm³) up to 20 cm deep and this value is maintained up to 30 cm, this same pattern is shown in the ridge where it reaches densities of up to 1,38 (g/cm³). The cause of this bulk density behavior in this unit may be linked to the work related to the cultivation in the furrow during the growth of the sugarcane.

Variaciones de la densidad aparente del suelo

Las variaciones referentes a la densidad aparente promedio, antes y después del paso de la maquinaria utilizada en la cosecha mostraron valores entre 0,8 y 1,38 (g/cm³), donde los valores mayores de densificación del suelo se encontraron en la UBPC Monte Lucas (Figura 5). Las UBPC Carlos Perera y J.A. Bacallao mostraron un ligero incremento de la densidad aparente respecto a la profundidad en los primeros 20 cm en las mediciones realizadas antes de la cosecha, tanto en el camellón como en el surco. La UBPC Monte Lucas por su parte, mostró un incremento considerable de 1.33 (g/cm³) hasta los 20 cm de profundidad y luego se mantiene este valor hasta los 30 cm, este mismo patrón se muestra en el camellón donde alcanza densidades de hasta 1,38 (g/cm³). La causa de este comportamiento de la densidad en esta unidad puede estar vinculada a las labores relacionadas con el cultivo en el surco durante el crecimiento de la caña.

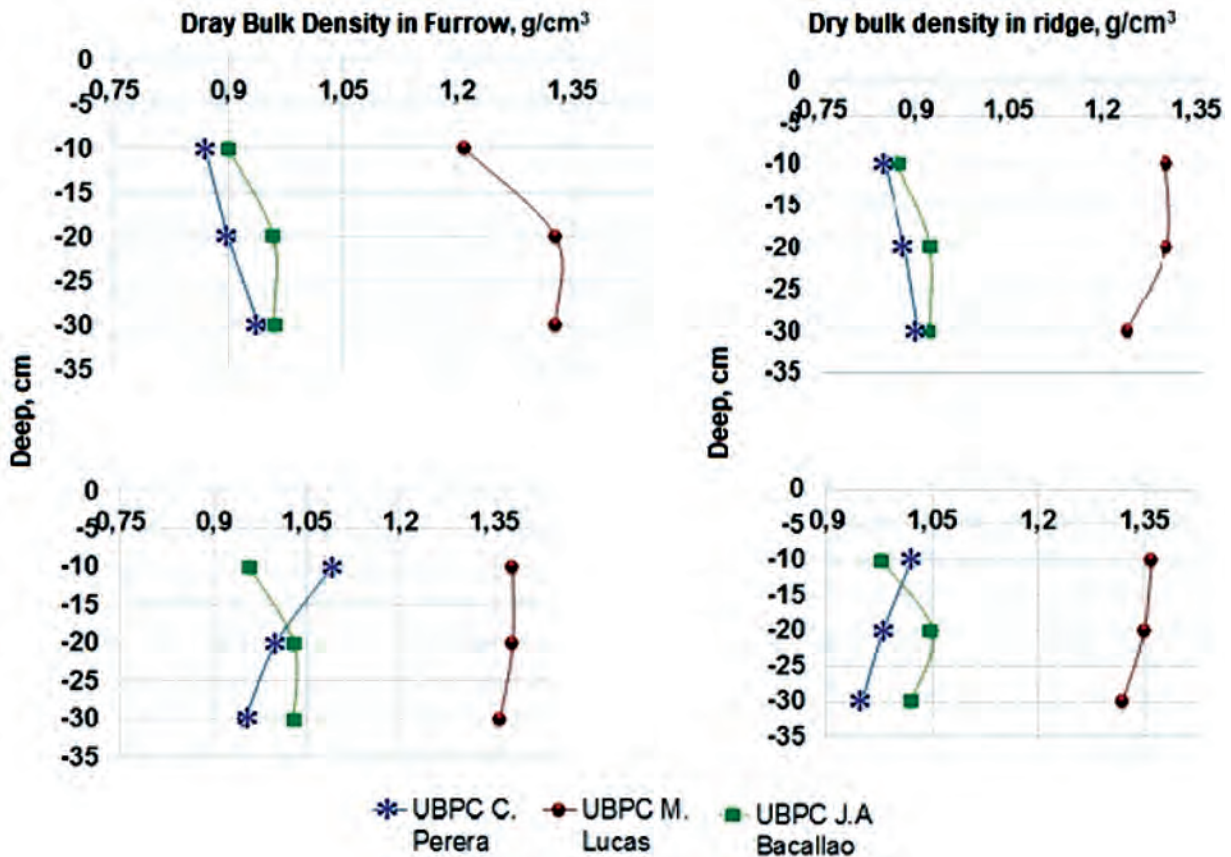


FIGURE 5. Behavior of dry bulk density before and after harvesting.
 FIGURA 5. Comportamiento de la densidad aparente promedio antes y después de la cosecha.

For the three case studies an increase in bulk density is verified after the passage of the harvester and the intermediate transport, which affects all three agricultural layers of the soil, mainly the superficial layer.

Para los tres casos de estudio se verifica un incremento en la densidad aparente después del paso de la cosechadora y el transporte intermedio lo que afecta en mayor cuantía la capa superficial del suelo.

CONCLUSIONS

- Variations in soil profiling was caused by traffic of harvester, tractor and the self-balancing car, as well as the parking and turning of the auxiliary machinery in the headwaters of the furrows. However, the tractor coupling with the self-balancing car introduce a major modification because it does not adjust to the used planting frame.
- Soil moisture did not exceed the maximum values for traffic established for this soil, with values between 24.1% and 64% of moisture, however, only the harvester was able to move smoothly under such conditions. The tractor with the self-balancing car experienced jams related to high moisture in soil depressions.
- The dry bulk density of the soil before harvest showed averages between 0.90 and 1.32 g/cm³, in the three units studied. An increase was observed after the passage of the harvesting machine system in the furrow and the ridge, with values between 0.98 and 1.37 g/cm³.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: Elvis López Bravo. Data curation: Elvis López Bravo, Omar González Cueto. Formal analysis: Elvis López Bravo, Eduardo Rafael Saucedo Levi. Investigation: Elvis López Bravo, Eduardo Rafael Saucedo Levi. Methodology: Elvis López Bravo, Yoel Betancourt Rodríguez. Supervision: Elvis López Bravo, Omar González Cueto. Validation: Miguel Herrera Suárez, Yoel Betancourt Rodríguez. Writing, original draft: Elvis López Bravo. Writing, review & editing: Miguel Herrera Suárez, Omar González Cueto.

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.
- 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.
- CID, G.; T. LOPÉZ; F. GONZÁLEZ; J. HERRERA y M. E. RUIZ: "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol.20: 42-46, 2011. ISSN: 1010-2760.
- 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.
- 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: e00243, 2020. ISSN: 2352-0094.
- GARCÍA RUIZ, I.; M. SÁNCHEZ ORTIZ; M. L. VIDAL DÍAZ; Y. BETANCOURT RODRÍGUEZ y J. ROSA LLANO: "Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol.19: 51-56, 2010. ISSN: 2071-0054.
- 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: 75-80, 2013. ISSN: 2071-0054.
- GUIMARÃES JÚNNYOR, W. D. S.; E. DISERENS; I. C. DE MARIA; C. F. ARAUJO-JUNIOR; C. V. V. FARHATE y Z. M. DE SOUZA: "Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation", *Science of The Total Environment*, vol.681: 424-434, 2019. ISSN: 0048-9697.
- GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, F.; A. GONZÁLEZ-HUERTA; D. D. J. PÉREZ-LÓPEZ; O. FRANCO-MORA; E. J. MORALES-ROSALES; P. SALDÍVAR-IGLESIAS y C. G. MARTÍNEZ-RUEDA: "Compactación inducida por el rodaje de tractores agrícolas en un vertisol", *Terra Latinoamericana*, vol.30: 1-7, 2012. ISSN: 0187-5779.
- NC 3447:2003: *Máquinas Agrícolas y Forestales, Metodología para la determinación de las condiciones de ensayo*, Vig. Septiembre 2003.
- MATOS, N.; C. IGLESIAS y E. GARCÍA: "Organización racional del complejo de máquinas en la cosecha - transporte - recepción de la caña

CONCLUSIONES

- Se constataron variaciones del perfilado del suelo causadas por el paso de la cosechadora, el tractor y el remolque autobasculante, así como el parqueo y viraje de los medios auxiliares en las cabeceras de los surcos, incidiendo con mayor intensidad el paso del autobasculante el cual no se ajusta al marco de siembra empleado.
- La humedad del suelo no sobrepasó los valores máximos de trafabilidad establecidos, con valores entre 24,1 y 64%, no obstante, solamente la cosechadora fue capaz de trasladarse sin dificultades en tales condiciones. El tractor con el remolque autobasculante experimentó atascaderos relacionados a la alta humedad en depresiones del suelo.
- La densidad aparente del suelo antes de la cosecha mostró promedios entre 0,90 y 1,32 g/cm³, constatándose en las tres unidades estudiadas un incremento de esta propiedad después del paso del sistema de máquinas para la cosecha, tanto en el surco como en el camellón con valores entre 0,98 y 1,37 g/cm³.

AUTHOR CONTRIBUTIONS:

Conceptualization: Elvis López Bravo. Data curation: Elvis López Bravo, Omar González Cueto. Formal analysis: Elvis López Bravo, Eduardo Rafael Saucedo Levi. Investigation: Elvis López Bravo, Eduardo Rafael Saucedo Levi. Methodology: Elvis López Bravo, Yoel Betancourt Rodríguez. Supervision: Elvis López Bravo, Omar González Cueto. Validation: Miguel Herrera Suárez, Yoel Betancourt Rodríguez. Writing, original draft: Elvis López Bravo. Writing, review & editing: Miguel Herrera Suárez, Omar González Cueto.

de azúcar en la Empresa Azucarera Argentina “, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol.23: 27-33, 2014. ISSN: 2071-0054.

MESA, Y. M.; R. G. VALDÉS; A. E. G. D. L. FIGAL; E. V. TIGASI y J. L. P. CUELLAR: “Influencia de la cosecha mecanizada de la cañade azúcar en la compactación del suelo”, *Revista Ing Agrícola*, vol.6 (1): 33-38, 2016. ISSN: 2227-8761.

RODRÍGUES, P.; J. PÉREZ y E. GONZÁLES: “Sistemas de cosecha de la caña de azúcar”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol.I: 2002. ISSN: 2071-0054.

RODRÍGUEZ, I.: *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar. Vol. II, pp 23*, ISSN:978-9942-24-031-6,2015.

RODRÍGUEZ, L. A. y J. J. VALENCIA: “Impacto del tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.16: 1128-1136, 2012. ISSN: 1415-4366.

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 ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2285-3413>

Eduardo Rafael Saucedo-Levi, Investigador, Delegación Provincial de la Agricultura, Departamento de Mecanización, Santi Spíritus, Cuba, e-mail: me-canizacion@eias.ssp.minag.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7070-6154>

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

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 ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4296-1726>

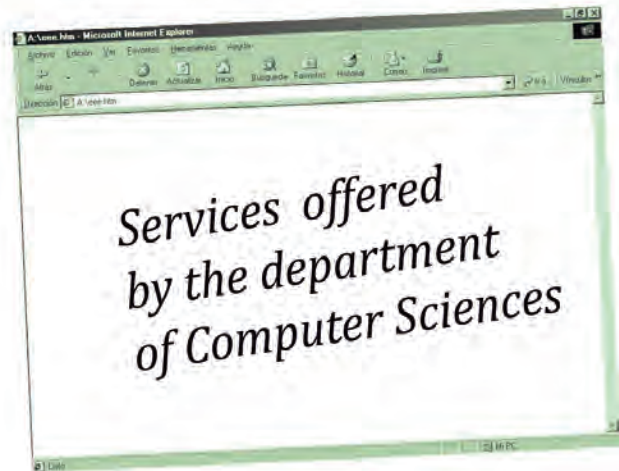
Yoel Betancourt-Rodríguez, Investigador, Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro-Villa Clara), Ranchuelo, Villa Clara, Cuba, e-mail: yoel.betancourt@nauta.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4109-8775>

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.

AGRARIAN UNIVERSITY OF HAVANA



DESIGN AND ASSEMBLY OF NETWORK PROJECTS DESIGN AND ASSEMBLY OF EDUCATIONAL COMPUTER SCIENCES

Courses

- **Web Page Desing**
- **Programing Under Web Environment**
- **Programaming Under Windows Environment**
- **Geographic Information System**
- **Multimedia Desing**
- **Educational Television**