



## Effect of Sugarcane Management over Compaction on a Vertisol

### *Efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un Vertisol*

M.Sc. Juan Alejandro Villazón-Gómez<sup>1</sup>, Ing. Alfredo Martín Morales-Menéndez<sup>1</sup>, Ing. George Martín-Gutiérrez<sup>II</sup>, Ing. Yakelín Cobo-Vidal<sup>II</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Holguín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro de Estudios de Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Holguín, Cuba.

<sup>II</sup> Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Guaro S/N, Mayarí, Holguín, Cuba.

**ABSTRACT.** Compaction, that constitutes a limiting edaphic factor for plants, is measured with equipment that delimits resistance to penetration. This work was developed in 2015, with the objective of determining the effect of sugar cane management on the compaction of a Pelic Vertisol in Cristino Naranjo Experimental Block, at the Sugarcane Research Provincial Station of Holguín. An experimental design of divided plots, with three treatments and four sub treatments was used. Compaction was evaluated to 30 cm of depth and the necessary labors of decompaction were determined. In *Burning of crop residues* the biggest compaction was found nearer the surface and with bigger thickness than in *Elimination of crop residues*. When crop residues are kept, the increment of compaction tends to become stabilized after 10 cm of depth. In *Keeping of crop residues* fertilized organically decompaction of soil with traditional cultivation is possible. Crop residues with organic mineral and mineral fertilizations and without fertilizing, do not attenuate the effect of compaction, and the same agro technical labors as when the crop residues are burned or eliminated, are necessary.

**Keywords:** Resistance to penetration, crop residues, fertilization.

**RESUMEN.** La compactación, que constituye un factor edáfico limitativo para las plantas, se mide con equipos que delimitan la resistencia a la penetración. El trabajo se desarrolló en el año 2015, con el objetivo de determinar el efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un Vertisol Pélico en el Bloque Experimental de Cristino Naranjo, de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas, con tres tratamientos y cuatro subtratamientos. La compactación se evaluó hasta 30 cm de profundidad y se determinaron las labores de descompactación necesarias. En *Quema de residuos de cosecha*, la mayor compactación se encontró más cercana a la superficie y con mayor espesor que en *Eliminación de residuos de cosecha*. Cuando se conservan los residuos, el incremento de la compactación se estabiliza después de 10 cm de profundidad. En *Conservación de residuos de cosecha* fertilizada orgánicamente es posible la descompactación del suelo con cultivo tradicional. Los residuos de cosecha con fertilizaciones *orgánico-mineral, mineral y sin fertilizar*, no atenúan el efecto de la compactación, y son necesarias las mismas labores agrotécnicas que cuando se queman o eliminan los residuos de cosecha.

**Palabras clave:** resistencia a la penetración, residuos de cosecha, fertilización.

## INTRODUCTION

One of the main degradation processes is the compaction occasioned by agricultural (Rodríguez *et al.*, 2012). González *et al.* (2009), they state that compaction is provoked by agricultural machinery because of the pressure it exerts over the soil, the weight on the wheel systems, the traffic intensity, the travelling speed, the skating and the realization of agricultural works in inappropriate conditions of humidity.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales procesos degradativos es la compactación ocasionada por la actividad agrícola (Rodríguez *et al.*, 2012). González *et al.* (2009), plantean que la compactación es provocada por la maquinaria agrícola por la presión que ejerce sobre el suelo, el peso sobre los sistemas de rodaje, el número de pases, la velocidad de desplazamiento, el patinaje y la realización de labores agrícolas en condiciones inapropiadas de humedad.

Soil compaction increases soil apparent density and mechanical resistance and decreases soil porosity (Taboada & Micucci, 2009). In this way, it favors the formation of compacted layers which difficult the penetration and proliferation of roots (Nunes *et al.*, 2016), with the resulting deterioration of agricultural yields (Vieira *et al.*, 2012).

Physical properties of soil constitute a necessary indicator at the time of evaluating the systems of management (Soares *et al.*, 2015). That way, the quantification of soil use and management effect on compaction is a fundamental condition for the development of sustainable agricultural systems (Millan *et al.*, 2014). The evaluation of compaction can be made by means of equipment that measures the resistance to penetration (Clivate-McIntyre & McCoy, 2006).

The continuous soil cover with organic material constitutes one of the fundamental criteria at the time of sustainable intensification of agricultural productions (Friedrich, 2014). In countries like South Africa (Graham *et al.*, 2002) and Cuba (Cabrera & Zuaznábar, 2010) experiments are constantly carried out, with the aim of monitoring the effect of crop residues cover on sugar cane production and soil fertility.

With this work, we intend to determine the effect of sugar cane crop management over compaction on a Pelic Vertisol.

## METHODS

The work was developed in 2015, in an experiment planted with sugar cane on a Vertisol Pélico (Hernández *et al.*, 2015), located at 20° 45' 15" N and 76° 22' 26,1" W, in areas of Cristino Naranjo Experimental Block, at the Sugarcane Research Provincial Station of Holguín. The harvest was done to the cane plants ratoon, with a sugarcane harvester KTP 2M and truck ZIL 130 with trailer. An experimental design of split plot was used (Espino & Arcia, 2009). The treatments and sub-treatments (with four repetitions), fertilized with a same dosages of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O (50 and 120 kg<sup>-1</sup>, respectively), are shown in the Table 1. For the application of chemical fertilizers and the scum a located (in direct contact with the seed) basal fertilizing was manually done (before planting).

La compactación del suelo provoca el aumento de la densidad aparente, de la resistencia mecánica y disminuye la porosidad del mismo (Taboada y Micucci, 2009). De esta forma, favorece la formación de capas compactadas que dificultan la penetración y proliferación de las raíces (Nunes *et al.*, 2016), con el consiguiente deterioro de los rendimientos agrícolas (Vieira *et al.*, 2012).

Las propiedades físicas del suelo constituyen un indicador necesario a la hora de evaluar los sistemas de manejo (Soares *et al.*, 2015). Así, la cuantificación del efecto del uso y manejo del suelo sobre la compactación es una condición fundamental para el desarrollo de sistemas agrícolas sustentables (Millan *et al.*, 2014). La evaluación de la compactación puede realizarse a través de equipos que miden la resistencia a la penetración (Clivate-McIntyre y McCoy, 2006).

La cobertura continua del suelo con material orgánico constituye uno de los criterios fundamentales a la hora de la intensificación sostenible de las producciones agrícolas (Friedrich, 2014). En países como Sudáfrica (Graham *et al.*, 2002) y Cuba (Cabrera y Zuaznábar, 2010) constantemente se realizan experimentos con el fin de monitorear el efecto de la cobertura de residuos de paja sobre la producción de la caña de azúcar y la fertilidad del suelo.

Con este trabajo nos proponemos determinar el efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un Vertisol Pélico.

## MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el año 2015, en un experimento plantado con caña de azúcar sobre un Vertisol Pélico (Hernández *et al.*, 2015), ubicado a los 20° 45' 15" N y 76° 22' 26,1" W, en áreas del Bloque Experimental de Cristino Naranjo, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín. La cosecha se realizó a la cepa caña planta, con una combinada cañera KTP-2M y camión ZIL-130 con remolque. Fue utilizado un diseño experimental de parcela dividida (Espino y Arcia, 2009). Los tratamientos y subtratamientos (con cuatro repeticiones), fertilizados con una misma dosis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O (50 y 120 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente), se muestran en la Tabla 1. Para la aplicación de los fertilizantes químicos y la cachaza se realizó un abonado de fondo (antes de la siembra) localizado (en contacto directo con la semilla) de forma manual.

**TABLE 1. Conformation of the treatments and sub-treatments**  
**TABLA 1. Conformación de los tratamientos y subtratamientos**

<b>Treatments</b>		
Burning of crop residues	Elimination of crop residues	Keeping of crop residues
<b>Sub-treatments</b>		
Organic fertilization (30 t ha <sup>-1</sup> of scum)		
Organic-mineral fertilization (18 t ha <sup>-1</sup> of scum + 100 kg ha <sup>-1</sup> of nitrogen)		
Mineral fertilization (100 kg ha <sup>-1</sup> of nitrogen)		
without fertilization		

Every one of the 48 plots has four furrows of 10 m of length and the resistance to penetration was determined at the center of every plot, in the ridge between the 2<sup>do</sup> and 3<sup>er</sup> furrow, plow through till 30 cm of depth. We used a penetrometer of impact model IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf, 1983), with the impacting

Cada una de las 48 parcelas cuenta con cuatro surcos de 10 m de longitud y la resistencia a la penetración se determinó en el centro de cada parcela, en el camellón entre el 2<sup>do</sup> y 3<sup>er</sup> surco, hasta los 30 cm de profundidad. Se utilizó un penetrómetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf, 1983), con la

mass regulated to 0,40 m. By means of the mathematical expression of Stolf *et al.* (1991) the quantity of impacts for depth was converted to megapascal (MPa):

$$RP (MPa) = 0,547 + 0,675 * N$$

Where *RP* is the resistance to penetration and *N* is the quantity of impacts for dm.

Example:

With 4 impacts, depth varied from 0 to 8cm.

masa impactadora regulada a 0.40 m. Mediante la expresión matemática de Stolf *et al.* (1991) se convirtieron la cantidad de impactos por profundidad a megapascales (MPa):

$$RP (MPa) = 0,547 + 0,675 * N$$

Donde *RP* es la resistencia a la penetración y *N* es la cantidad de impactos por dm.

Ejemplo:

Con 4 impactos la profundidad varió de 0 a 8 cm.

$$N (\text{impacts for dm}) = \left( \frac{4}{8-0} \right) * 10 = 5 \text{ impacts/dm}$$

$$PR (MPa) = 0.547 + 0.675 * 5 = 3.922 MPa$$

In order to express in constant intervals of depth (5 cm), the values of compaction, for the impossibility of accomplishing readings of the penetrometer of impact in the field with the condition said, the algorithm proposed by Stolf *et al.* (2014) was used.

Example:

Resistance to penetration in the layer from 5-10 cm

$$RP = \frac{(8-5) * 3.922 + (10-8) * 7.297}{5}$$

Where 3,922 and 7,297 are the resistances to penetration in the depths of 5-8 and of 8-10 cm, respectively, and 5 is the thickness of the layer where the resistance to penetration is determined.

The not corrected resistance to penetration method<sup>1</sup> was used, that is conceived for situations in which it is not possible to determine the soil moisture, and establishes 27.7 not corrected critical impacts (CI) to the first 30cm of depth in Vertisoles with a category of humidity considered as dry (underneath 32%). The effect of the humidity on the resistance to penetration into the soil was considered in the mentioned quantity of CI. From the depths established for the traditional tillage (0-20 cm) and deep tillage (0-30 cm), 17 and 9 CI are considered for the layers of 0-20 and 20-30 cm, respectively. This method allows, besides, recommending three technologies for the management of the first cultivation and of the crop residues. In this way, the unaltered crop residues cover is maintained, when the quantity of impacts for depth are underneath the number of CI in the two mentioned depths; traditional tillage takes place, when the determined impacts for depth are greater or similar to the CI in the layer of 0-20 cm and minors in the depth of 20-30 cm; and deep tillage, when in the layer of 20-30 cm, the resistance to penetration in impacts for depth is larger than the quantity of CI.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

Figure 1 shows that the influence of crop residues management over the resistance to penetration is more accentuated

Para expresar en intervalos constantes de profundidad (5 cm) los valores de compactación, por la imposibilidad de realizar lecturas del penetrómetro de impacto en el campo con dicha condición, se utilizó el algoritmo propuesto por Stolf *et al.* (2014).

Ejemplo:

Resistencia a la penetración a la profundidad de 5-10 cm.

$$RP = \frac{(8-5) * 3.922 + (10-8) * 7.297}{5}$$

Donde 3.922 y 7.297 es la resistencia a la penetración en las profundidades de 5-8 y de 8-10 cm, respectivamente y 5 es el espesor de la capa donde se determina la resistencia a la penetración.

Se utilizó el método de la resistencia a la penetración no corregida<sup>1</sup>, concebido para situaciones en las que no es posible determinar la humedad del suelo, y que establece 27.7 impactos críticos no corregidos (IC) para los primeros 30 cm de profundidad en Vertisoles con una categoría de humedad considerada como seca (por debajo del 32%). En dicha cantidad de IC se incluye el efecto de la humedad sobre la resistencia del suelo a la penetración. A partir de las profundidades establecidas para el cultivo tradicional (0-20 cm) y profundo (0-30 cm), se consideran 17 y 9 IC para las capas de 0-20 y 20-30 cm, respectivamente. Este método permite, además, recomendar tres tecnologías para el manejo del primer cultivo y de los residuos de cosecha. De esta forma, se mantiene la cobertura inalterada de paja, cuando la cantidad de impactos por profundidad están por debajo del número de IC en las dos profundidades mencionadas; se da cultivo tradicional, cuando los impactos por profundidad determinados son mayores o iguales que los IC en la capa de 0-20 cm y menores en la profundidad de 20-30 cm; y cultivo profundo, cuando en la capa de 20-30 cm, la resistencia a la penetración en impactos por profundidad es mayor que la cantidad de IC.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra que la influencia del manejo de los residuos de cosecha sobre la resistencia a la penetración es más

<sup>1</sup> GARCÍA RUIZ, I.; MARITZA SÁNCHEZ ORTIZ; J. BETANCOURT RODRÍGUEZ; M. L. VIDAL DÍAZ; J. RUIZ TRABA y ANNERYS REYES PEÑA-TE: Metodología para evaluar la compactación de los suelos con penetrómetro de impacto en condiciones de cosecha mecanizada de la caña de azúcar, 21 pp., Instituto de Investigaciones de la Caña de azúcar, Informe inédito, La Habana, Cuba, 2013.

ated than the effect of fertilization, and also in all the studied variants, resistance to penetration tends to increase as it gets deeper into the soil. In the case of *burning of crop residues* (BCR), it was found that increase of compaction takes place near the surface, because the layer with bigger compaction appeared between 10 and 20cm depth. It can be related to moisture losses for evaporation due to the temperatures during burning and to the loss of soil mulch. It could be also due to the deterioration of soil structure for direct effect of burning and the decrease of organic matter content coming from crop residues.

In this way, Toledo *et al.* (2008), when considering the biomass production in sugarcane agroecosystems, suggest that the presence of crop residues left in the field (16-30 t ha<sup>-1</sup>) favors the increment of agricultural yields and they point out that the preservation of soil moisture is one of the factors of direct influence. However, in the agroecosystems where burning takes place, agricultural yields are smaller and, by means of a regression equation, they determined that the contribution of crop residues, was smaller (15-18 t ha<sup>-1</sup>).

Regarding to the *Elimination of crop residues* (ECR), the sub-treatments also had a tendency to the increase of the resistance to penetration toward inside the soil profile. However, this increase becomes manifest at greatest depth than in the *burning of crop residues* (BCR), appearing the biggest compaction in the layer of 15-20cm. In the same way, the sub-treatments had a most homogenous behavior than in the QRC.

In *Keeping of crop residues* (KCR) the tendency of the resistance to penetration to increase with depth was smaller than in the two previous treatments, especially, where that type of crop residues management was combined with the *Organic fertilization*. That behavior can be due to a better conservation of soil moisture under the mulch and for a bigger content of organic matter coming from the decaying *in situ* of crop residues, because as Ortiz *et al.* (2012), state, when harvesting the green sugarcane, the residues that are kept in the field, are incorporated as organic matter to the soil and they decrease erosion effects and improve soil texture. Furthermore, they contribute to increase moisture retention into the soil, with the resulting increment of agricultural yields, mainly in regions where average annual rainfall is low.

Also Gutiérrez *et al.* (2014), when studying the mechanical compaction in Vertisoles, found out that there is a relation between the increment of organic matter and the decrease of compaction. This inversely proportional relation is given by the effect that provokes on the soil, the use of physical conditioners that enable maintaining and improving the adequate conditions for root system development of crops.

It can be also appreciated, when combining the three treatments with the *Organic-mineral fertilization* that the highest values of compaction appear in the first depths. It can be given by the fact that the quantities of scum incorporated to the soil are not enough to moderate the effect of agricultural machinery transit. Furthermore, the chemical fertilizers

acentuada que el efecto de la fertilización, y que en todas las variantes estudiadas, la resistencia a la penetración tiende a incrementarse a medida que se profundiza en el suelo. En el caso de la *Quema de residuos de cosecha* (QRC), se encontró que el aumento de la compactación se produce cercano a la superficie, pues la capa con mayor compactación apareció entre los 10-20 cm de profundidad. Lo cual puede estar relacionado con las pérdidas de humedad por evaporación debido a las temperaturas durante la quema y a la pérdida de la cobertura protectora del suelo. Además por el deterioro de la estructura del suelo por efecto directo de la quema y la disminución del contenido de materia orgánica procedente de los residuos de cosecha.

De esta manera, Toledo *et al.* (2008), al estimar la producción de biomasa en agroecosistemas cañeros, sugieren que la presencia de los residuos de cosecha dejados en el campo (16-30 t ha<sup>-1</sup>) favorece el incremento de los rendimientos agrícolas y señalan que entre los factores de influencia directa se encuentra la preservación de la humedad del suelo. Sin embargo, en los agroecosistemas donde se realiza la quema los rendimientos agrícolas resultan menores y, mediante una ecuación de regresión, determinaron que el aporte de residuos de cosecha era mucho menor (15-18 t ha<sup>-1</sup>).

En lo que respecta a la *Eliminación de residuos de cosecha* (ERC), los subtratamientos también tuvieron una tendencia al incremento de la resistencia a la penetración hacia el interior del perfil del suelo. Sin embargo, este aumento se manifestó a mayor profundidad que en la *Quema de residuos de cosecha* (QRC), al aparecer la mayor compactación en la capa de 15-20 cm. De la misma forma, los subtratamientos tuvieron un comportamiento más homogéneo que en la QRC.

En la *Conservación de los residuos de cosecha* (CRC) la tendencia de la resistencia a la penetración a aumentar con la profundidad fue menos marcada que en los dos tratamientos anteriores; sobre todo, donde se combinó este tipo de manejo de los residuos con la *Fertilización orgánica*. Este comportamiento puede estar dado por una mejor conservación de la humedad del suelo bajo la cobertura de paja y por un mayor contenido de materia orgánica procedente de la descomposición *in situ* de los residuos de cosecha, pues, como plantean Ortiz *et al.* (2012), al cosechar la caña de azúcar verde, los residuos que se dejan en el campo se incorporan como materia orgánica al suelo; los mismos disminuyen los efectos de la erosión y mejoran la textura del suelo. Además, contribuyen a incrementar la retención de humedad en el suelo, con el consiguiente incremento de los rendimientos agrícolas, sobre todo en regiones donde el promedio de precipitaciones anuales es bajo.

También Gutiérrez *et al.* (2014), al estudiar la compactación mecánica en Vertisoles, encontraron que existe una relación entre el incremento de la materia orgánica y la disminución de la compactación. Esta relación inversamente proporcional está dada por el efecto que provoca sobre el suelo el uso de acondicionadores físicos que permiten mantener y mejorar las condiciones adecuadas para el desarrollo radicular de los cultivos.

Puede apreciarse también cuando se combinan los tres tratamientos con la *Fertilización orgánico-mineral* aparecen los valores más altos de compactación en las primeras profundidades. Lo cual puede estar dado por el hecho de que las cantidades de cachaza incorporadas al suelo no son suficientes para atemperar el efecto del tránsito de la maquinaria agrícola. Además, los fertilizantes

seem to act on the soil structure, because in a long-term experiment of sugarcane, planted on a Vertisol, Graham *et al.* (2002) found out that the stability of the aggregates increases with the increase of the crop residues, but it diminishes due to fertilizers applications.

químicos parecen influir sobre la estructura del suelo, pues en un experimento de larga duración de caña de azúcar, plantada sobre un Vertisol, Graham *et al.* (2002), encontraron que la estabilidad de los agregados se incrementa con el aumento de los residuos de cosecha, pero la misma disminuye debido a las aplicaciones de fertilizantes.

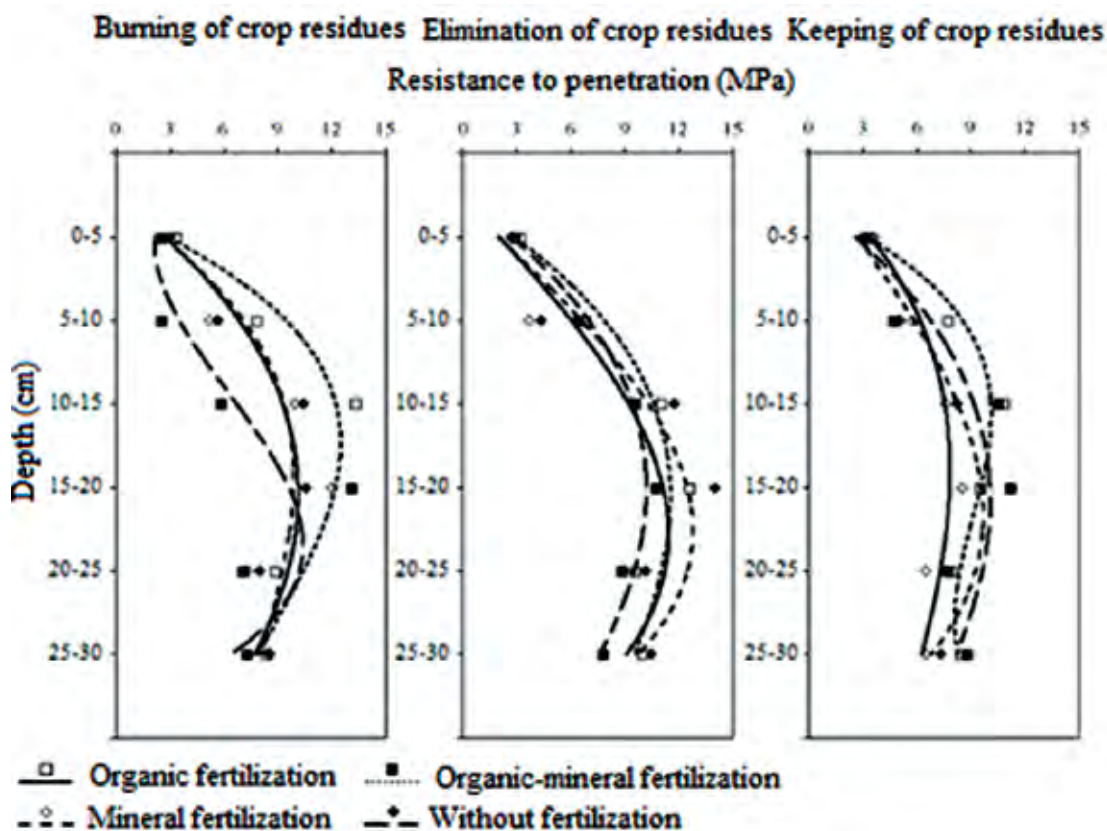


FIGURE 1. Behavior of the resistance to penetration according to the crop management of sugarcane.  
 FIGURA 1. Comportamiento de la resistencia a la penetración según el manejo del cultivo de la caña de azúcar.

By means of the methodology proposed by Garcia *et al.* (2013) and, when taking into account the increments of compaction as depth increases in the treatments *Burning of crop residues* and *Elimination of crop residues*, Table 2 shows that for all variants of fertilization in these two treatments, it is recommended to accomplish the deep tillage for soil decompaction. In the case of the treatment *Keeping of crop residues* with *Organic fertilization*, where resistance to penetration tends to become stabilized underneath 10cm depth, traditional tillage is enough. However, in the sub-treatments *Organic-mineral fertilization*, *Mineral fertilization* and *Without fertilization*, deep tillage for soil decompaction is recommended, in spite of the presence of crop residues.

Mediante la metodología propuesta por García *et al.* (2013) y, al tener en cuenta los incrementos de la compactación a medida que aumenta la profundidad en los tratamientos *Quema de residuos de cosecha* y la *Eliminación de residuos de cosecha*, la Tabla 2 muestra que para todas las variantes de fertilización en estos dos tratamientos, se recomienda realizar el cultivo profundo para la descompactación del suelo. En el caso del tratamiento *Conservación de residuos de cosecha* con *Fertilización orgánica*, donde la resistencia a la penetración tiende a estabilizarse por debajo de los 10 cm de profundidad, es suficiente el cultivo tradicional. Sin embargo, en los subtratamientos *Fertilización orgánico-mineral*, *Fertilización mineral* y *Sin fertilizar*, se recomienda, a pesar de la presencia de los residuos de cosecha, el cultivo profundo para descompactar el suelo.

TABLE 2. Necessary plowing for soil decompaction  
 TABLA 2. Labores necesarias para la descompactación del suelo

Fertilization (Sub-treatments)	Management of crop residues (Treatments)		
	Burning of crop residues	Elimination of crop residues	Keeping of crop residues
Organic	Deep tillage	Deep tillage	Traditional tillage
Organic-mineral	Deep tillage	Deep tillage	Deep tillage
Mineral	Deep tillage	Deep tillage	Deep tillage
Without fertilizing	Deep tillage	Deep tillage	Deep tillage

## CONCLUSIONS

- Management of crop residues has a bigger effect over soil compaction than fertilization. In the treatment *Burning of crop residues*, the highest resistance to penetration manifests in-depth between 10-20 cm, closer to the surface and with a layer of bigger thickness than in the case of the treatment *Elimination of crop residues*, where the highest resistance to penetration appears at 15-20 cm depth. When crop residues are kept on the soil, the increment of resistance to penetration tends to become stabilized underneath 10 cm depth.
- Traditional tillage (0-20cm depth) is enough to solve the existing problems of compaction in the treatment *Keeping of crop residues with Organic fertilization*. While, the combination of the sub-treatments *Organic-mineral fertilization, mineral fertilization and without fertilization* with the treatment mentioned, is not enough to preserve soil from the process of compaction, so the same decompaction works are necessary as in the *Burning of crop residues* and *Elimination of crop residues* treatments.

## CONCLUSIONES

- El manejo de los residuos de cosecha tiene un mayor efecto sobre la compactación que la fertilización. En el tratamiento *Quema de residuos de cosecha*, la mayor resistencia a la penetración se manifiesta entre los 10-20 cm de profundidad, más cercana a la superficie y con una capa de mayor espesor que en el caso del tratamiento *Eliminación de residuos de cosecha* donde la mayor resistencia a la penetración aparece a la profundidad de 15-20 cm. Cuando se conservan los residuos de cosecha, el incremento de la resistencia a la penetración tiende a estabilizarse por debajo de los 10 cm de profundidad.
- El cultivo tradicional (0-20 cm de profundidad) es suficiente para solucionar los problemas de compactación existentes en el tratamiento *Conservación de residuos de cosecha con Fertilización orgánica*. Mientras que, la combinación de los subtratamientos *Fertilización orgánico-mineral, Fertilización mineral y Sin fertilizar* con dicho tratamiento no basta para proteger al suelo del proceso de compactación, por lo que son necesarias las mismas labores de descompactación que en los tratamientos *Quema de residuos de cosecha* y *Eliminación de residuos de cosecha*.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CABRERA, J.A.; ZUAZNÁBAR R.: "Impacto sobre el medio ambiente del cultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono", *Cultivos Tropicales*, 31(1): 5-13, 2010, ISSN: 0258-5936.
- CLIVATE-MCINTYRE, A.A.; MACCOY, E.L.: "Fractional brownian description of aggregate surfaces within undisturbed soil samples using penetration resistance measurements", *Soil and Tillage Research*, 88: 144-152, 2006, ISSN: 0167-1987.
- FRIEDRICH, T. H.: "La seguridad alimentaria: retos actuales", *Cuban Journal of Agricultural Science*, 48(4): 319-322, 2014, ISSN: 2079-3472.
- GONZÁLEZ C.O.; IGLESIAS, C.C.E.; HERRERA, S.M.: "Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 57-63, 2009, ISSN: 2071-0054.
- GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H.: "Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa", *European Journal of Soil Science*, 53: 589-598, 2002, ISSN: 1365-2389.
- GUTIÉRREZ, R.F.; VACA, G.V.M.; PÉREZ, L.D.; MORA, O.F.; ARRIAGA, M.R.; CASTAÑEDA, V.A.; MORALES, R.E.J.: "Compactación mecánica en suelos Vertisol", *Ciencias Agrícolas Informa*, 23(2): 7-21, 2014.
- 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.
- MILLAN, E.; RUIZ, H.A.; FERNANDES, R.B.A.; DA COSTA, L.M.: "Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(10): 1003-1009, 2014, ISSN: 1807-1929.
- NUNES, J.A.S.; BONFIM-SILVA, E.M.; DA SILVA, T.J.A.: "Bulk density and water tensions in the soil on corn root production", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(4): 357-363, 2016, ISSN: 1807-1929.
- ORTIZ L.H.; SALGADO, G.S.; CASTELÁN, E.M.; CÓRDOVA S.S.: "Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (4): 767-773, 2012 ISSN: 2007-0934.
- RODRÍGUEZ, I.; PÉREZ, H.; VERA, A.; CONCEPCIÓN, E.; MORALES, L.; DOMÍNGUEZ, N.; NÁPOLES, R.; RODRÍGUEZ, E.: "Establecimiento de prácticas agrícolas para mitigar la degradación de los suelos cañeros en la UBPC Tuinucú", *ATAC*, 73(1): 6-10, 2012, ISSN 0138-7553.
- SOARES, A.S.N.; SALVIANO, M.A.; OLSZEWSKI, N.; BEZERRA DE MELO, S.; FERREIRA, C.T.J.; GIONGO, V.; PEREIRA, J.S.: "Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39: 1473-1482, 2015, ISSN: 1806-9657.
- STOLF, R.: "Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15: 229-235, 1991, ISSN 1806-9657.
- STOLF, R.; FERNÁNDEZ, J.; FURLANI, V.L.: "Recomendação para uso do penetrômetro de impacto medelo IAA/planasucar-Stolf", *Revista STAB-Açúcar, Alcool e Subprodutos*, 1(3): 235-241, 1983, ISSN: 0797-4930.
- STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L.G.; FERREIRA DA SILVA, L.C.; MARGARIDO C.L.A.: "Penetrômetro de impacto stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(3): 774-782, 2014, ISSN: 1806-9657.
- TABOADA, M.A.; MICUCCI S.N.: "Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la Pampa deprimida al pastoreo rotativo", *Ciencia del Suelo*, 27(2): 147-157, 2009, ISSN: 1850-2067.

TOLEDO, E.; CABRERA, J.A.; LEYVA, A.; POHLAN, H.A.J.: "Estimación de la producción de residuos agrícolas en agroecosistemas de caña de azúcar", *Cultivos Tropicales*, 29(3): 17-21, 2008, ISSN: 1819-4087.

VIEIRA, L.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; DA COSTA, A.; BATISTELLA, B.; WARMLING, M.T.: "Atributos físicos relacionados a compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 1733-1744, 2012, ISSN: 1806-9657.

**Received:** 15/12/2015.

**Approved:** 13/03/2017.

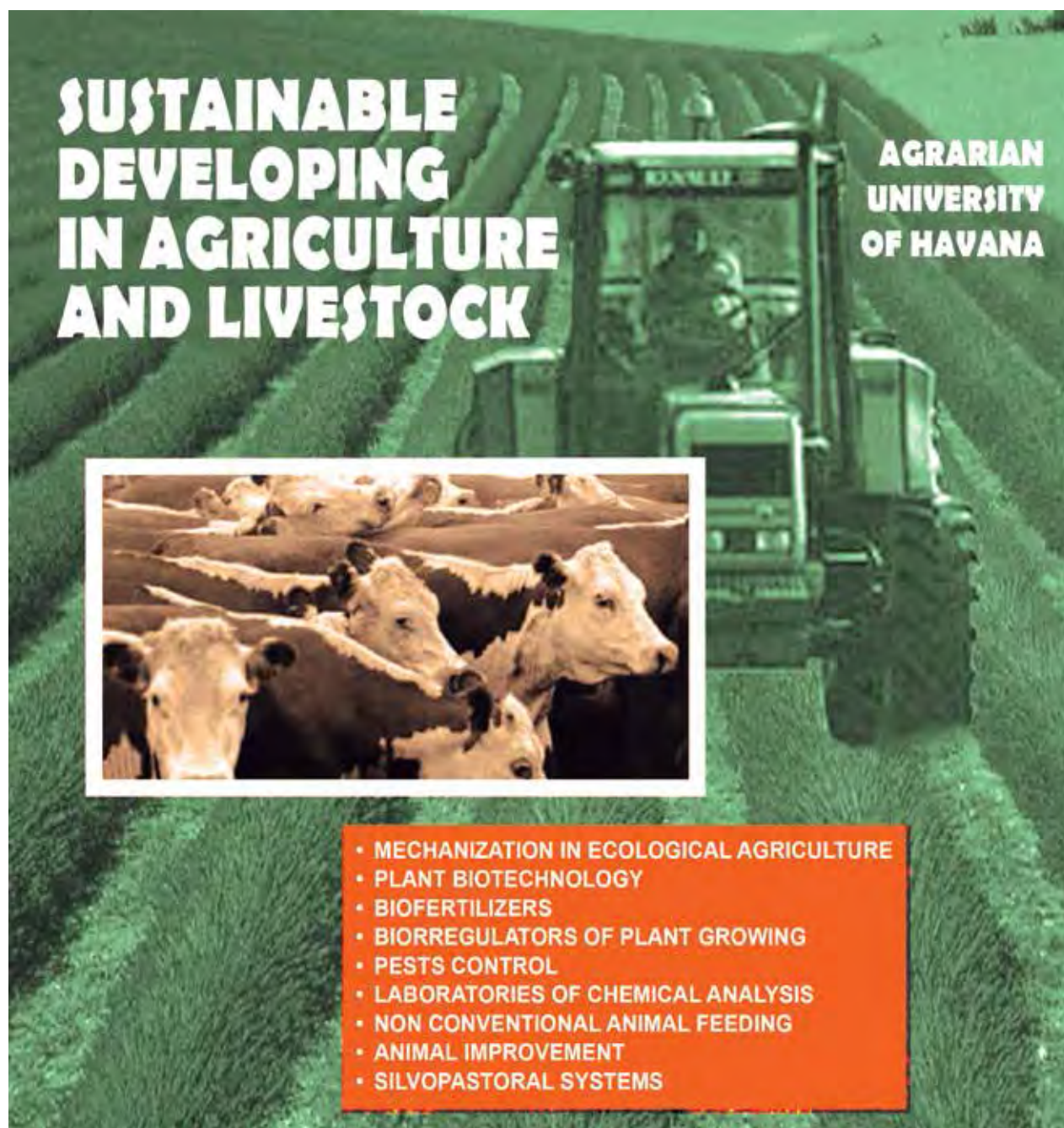
Juan Alejandro Villazón Gómez, profesor, Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Centro de Estudios de Agroecosistemas Áridos (CEAAR), Ave. de los Libertadores, km 3½, Holguín, Cuba, Tel: 2448 2112, E-mail: [villazon@fac.uho.edu.cu](mailto:villazon@fac.uho.edu.cu)

Alfredo Martín Morales Menéndez, E-mail: [martin.morales@inicahl.azcuba.cu](mailto:martin.morales@inicahl.azcuba.cu)

George Martín Gutiérrez, E-mail: [george.martin@inicahl.azcuba.cu](mailto:george.martin@inicahl.azcuba.cu)

Yakelín Cobo Vidal, E-mail: [yakelin.cobo@inicahl.azcuba.cu](mailto:yakelin.cobo@inicahl.azcuba.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.



**SUSTAINABLE  
DEVELOPING  
IN AGRICULTURE  
AND LIVESTOCK**

**AGRARIAN  
UNIVERSITY  
OF HAVANA**

- MECHANIZATION IN ECOLOGICAL AGRICULTURE
- PLANT BIOTECHNOLOGY
- BIOFERTILIZERS
- BIORREGULATORS OF PLANT GROWING
- PESTS CONTROL
- LABORATORIES OF CHEMICAL ANALYSIS
- NON CONVENTIONAL ANIMAL FEEDING
- ANIMAL IMPROVEMENT
- SILVOPASTORAL SYSTEMS