

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

## Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con diferentes usos, manejos y sitios de muestreo

*Penetration resistance in a Chromic Vertisol with different uses, managements and sampling sites*J. A. Villazón<sup>1</sup>, G. Martín<sup>2</sup>, Y. Rodríguez<sup>2</sup> y Yakelín Cobo<sup>2</sup><sup>1</sup>Universidad de Holguín (UHO), Ave. XX Aniversario, vía Guardalavaca, Piedra Blanca, Holguín, Cuba<sup>2</sup>Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Mayarí, Holguín, Cuba

Correo electrónico: villazon@facing.uho.edu.cu

**RESUMEN:** Se realizó una investigación con el objetivo de determinar la influencia del uso de la tierra, el sistema de labranza y el sitio de muestreo, sobre la resistencia a la penetración en un suelo Vertisol Crómico. Los usos de la tierra fueron: silvopastoreo, pasto natural, cultivos varios y caña de azúcar; esta última con laboreo tradicional y laboreo localizado. Los dos usos agrícolas se muestrearon en el camellón y el surco, y las profundidades fueron de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm. La mayor resistencia a la penetración ( $p < 0,001$ ) se encontró en las áreas con fines pecuarios (8,64 y 7,71 impactos  $\text{dm}^{-3}$  en pasto natural y silvopastoreo, respectivamente). La menor resistencia a la penetración se encontró, en orden descendente, en el surco de caña de azúcar con laboreo localizado, el camellón en cultivos varios y el surco de caña de azúcar con laboreo tradicional. Esta variable aumentó a medida que se profundizó en el perfil del suelo. En los usos pecuarios se observó una capa más cercana a la superficie, en la que se incrementó la compactación. Se concluye que la mayoría de las profundidades se clasificaron como poco compactadas y medianamente compactadas; las primeras aparecieron en la superficie, con variaciones en cuanto al espesor. Solamente se encontró una capa compactada en la profundidad de 30-40 cm, en pasto natural.

*Palabras clave:* compactación del suelo, propiedades físico-químicas del suelo

**ABSTRACT:** A study was conducted in order to determine the influence of the land use, tillage system and sampling site on the penetration resistance in a Chromic Vertisol soil. The land uses were: silvopastoral system, natural pasture, food crops and sugarcane; the last one with traditional tillage and localized tillage. The two agricultural uses were sampled in the ridge and the furrow, and the depths were 0-10, 10-20, 20-30 and 30-40 cm. The highest penetration resistance ( $p < 0,001$ ) was found in the areas with livestock production purposes (8,64 and 7,71 impacts  $\text{dm}^{-3}$  in natural pasture and silvopastoral system, respectively). The lowest penetration resistance was found, in decreasing order, in the sugarcane furrow with localized tillage, the ridge in food crops and the sugarcane furrow with traditional tillage. This variable increased as the sampling went deeper into the soil profile. In the livestock production uses a layer closer to the surface, in which compaction increased, was observed. It is concluded that most depths were classified as little and moderately compacted; the former appeared in the surface, with variations regarding thickness. Only one compacted layer was found in the 30-40 cm depth, in natural pasture.

*Key words:* physical and chemical properties of the soil, soil compaction

## INTRODUCCIÓN

Desde las primeras décadas del siglo xx, se fundamentó la importancia de la influencia antrópica como factor de formación de los suelos, ya que la utilización de estos en la agricultura influye en su formación cultural y sus propiedades (Cairo y Fundora, 2005). En este sentido, los diferentes usos de la tierra (Blanco *et al.*, 2005) y los sistemas de

manejo (Imhoff *et al.*, 2009; Gaitán *et al.*, 2009; Parra *et al.*, 2011; Álvarez *et al.*, 2012) empleados por el hombre provocan la ocurrencia de cambios en algunas de las características edáficas originales.

El cambio de uso de la tierra modifica las propiedades del suelo (Soane, 1990). Las labores agrícolas que se realizan con fines al desmonte y la preparación para diversos cultivos pueden causar degradación

y también la disminución de la productividad de las plantaciones (Buol y Stokes, 1997). Los suelos que en estado natural mantienen una vegetación autóctona presentan características físicas adecuadas para el desarrollo normal de las plantas (Andreola *et al.*, 2000). Cuando el uso de la tierra cambia a explotación agrícola ocurre la modificación drástica de sus propiedades físicas, las que alteran desfavorablemente el crecimiento vegetal (Spera *et al.*, 2004). También es posible que se transformen las propiedades físicas, químicas y biológicas debido a la influencia de los sistemas de manejo (Parra *et al.*, 2011; Devine *et al.*, 2014). Estos sistemas, al actuar directamente sobre la estructura, ejercen una mayor influencia en el comportamiento físico del suelo (Vieira y Klein, 2007).

El uso y manejo inadecuado del suelo acelera su degradación física (Jaramillo, 2002). En este sentido, la compactación provoca el aumento de la densidad del suelo y la resistencia mecánica, y disminuye la porosidad (Villamil *et al.*, 2000; Taboada y Micucci, 2009). El estado de la compactación se puede establecer a través de equipos que miden la resistencia a la penetración (Cuéllar *et al.*, 2002), conocidos como penetrómetros (Jaramillo, 2002).

Los Vertisoles presentan propiedades que se derivan de la interacción de diferentes factores edafogénicos, como el relieve y el clima, los que garantizan la ocurrencia de procesos de contracción y dilatación. Estos procesos dinámicos se asocian al predominio de minerales arcillosos illíticos o smectíticos en el material originario. Dichos suelos se forman en regiones en las que predomina un relieve llano-depresional, con marcados procesos de hidromorfia (Imbellone y Mormeneo, 2011). Además, presentan una estructura en la que los agregados se encuentran orientados verticalmente (Hernández *et al.*, 2010).

Tomando en consideración estos antecedentes, el objetivo de esta investigación fue determinar la influencia del uso de la tierra, los sistemas de labranza y el sitio de muestreo en la resistencia a la penetración en un suelo Vertisol Crómico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Características de la zona.** La investigación se realizó sobre dos suelos Vertisoles Crómicos cálcicos, en el bloque experimental de Guaro y el área experimental Kilómetro 27, pertenecientes a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), en Holguín, Cuba. Los polígonos de suelo de las áreas eran semejantes, solamente se

diferenciaban en el grado de salinidad y la profundidad efectiva (63 y 60 cm, respectivamente).

Las áreas se encuentran en la parte oriental de la llanura de Alto Cedro, que presenta un balance hídrico con dos periodos de sequía al año y zonas de régimen intermedio e intermedio-seco. Además, tiene un rango que oscila entre 219-292 días anuales de estrés hídrico y un clima Aw (sabana). Desde el punto de vista paleogeográfico, en la región existieron llanuras periódicamente inundadas durante el Plioceno-Pleistoceno inferior y Pleistoceno superior, y terrenos emergidos relativamente bajos, en el Pleistoceno superior tardío.

**Selección y muestreo de las áreas.** La resistencia a la penetración en la caña de azúcar se determinó en el área perteneciente a un experimento de labranza, en el que se muestrearon tres réplicas (en el surco y en el camellón) con laboreo tradicional (LT) y tres con laboreo localizado (LL). Para la selección del resto de los puntos de muestreo, las áreas se estratificaron según el tipo de suelo y el uso de la tierra (silvopastoreo, pasto natural y cultivos varios), mediante el mapa de suelos 1:25 000, las imágenes satelitales IKONOS (1 m de resolución) y el software Mapinfo Professional 10.0.

Las áreas ocupadas por los diferentes usos de la tierra fueron divididas en 5, 15 y 11 parcelas de 1 566 m<sup>2</sup> (silvopastoreo, pasto natural y cultivos varios, respectivamente). Se eligió como unidad mínima de estudio la parcela de 43,5 x 36 m (1 566 m<sup>2</sup>), ya que se corresponde con la menor superficie ocupada por uno de los usos de la tierra (caña de azúcar). Cada parcela (celda) se dividió en 12 subparcelas de 48 m<sup>2</sup>.

Esta operación se repitió para escoger tres subparcelas dentro de la parcela seleccionada. A continuación se realizó el estudio de penetrometría, en el centro de cada una de ellas. Se realizaron tres muestreos en cada tratamiento, a cuatro profundidades: 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm.

**Descripción de los tratamientos.** Se evaluaron cuatro usos de la tierra, dos sistemas de labranza y dos sitios de muestreo (tabla 1). Los muestreos se realizaron según el uso de la tierra: silvopastoreo: área con más de 15 años de establecida como bosque y, al menos, los últimos 10 años dedicados al silvopastoreo; pasto natural: área con alrededor de 10 años de explotación y sembrada anteriormente con caña de azúcar; cultivos varios: plátano como cultivo principal en el área y yuca como cultivo asociado, con aproximadamente dos años con ese uso, y antes

estaba sembrada con caña de azúcar; y caña de azúcar, con dos años de plantada. Los tres primeros se localizaban en el bloque experimental, y el último, en el área experimental Kilómetro 27, con un diseño experimental de parcelas divididas. Se emplearon dos sistemas de labranza que constituyeron los tratamientos: LT: rotura con arado de discos, dos pases de grada y surcado; y LL: rotura y surcado con C-101. En ambos sistemas el control de plantas arvenses se realizó de forma manual.

Para la evaluación de los sitios de muestreo, se determinó la resistencia del suelo a la penetración en el camellón y el surco, en los usos cultivos varios y caña de azúcar. En este último se tuvo en cuenta el sistema de labranza.

**Evaluación de la resistencia a la penetración.** Para evaluar la resistencia a la penetración se utilizó un penetrómetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf *et al.*, 1983), con la masa impactadora regulada a 0,40 m. El grado de compactación se clasificó de acuerdo con las siguientes categorías: friable, poco compactado, medianamente compactado, compactado y altamente compactado; las cuales se correlacionan con diferentes rangos de densidad del suelo (Ds). Los muestreos se realizaron con el suelo a capacidad de campo.

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza de clasificación simple, mediante la prueba de rango múltiple de Duncan, al 95 % de probabilidad, y se determinó el coeficiente de correlación de Pearson entre los valores, según el sitio de muestreo. Para el procesamiento de los datos se empleó el software Statística 7.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor resistencia del suelo a la penetración (fig. 1) se encontró en pasto natural (8,64 impactos

$\text{dm}^{-3} = \text{imp dm}^{-3}$ ), seguido por silvopastoreo (7,71  $\text{imp dm}^{-3}$ ). Ambos difirieron de forma altamente significativa de los otros usos, sistemas de labranza y sitios de muestreo. A los tratamientos con fines pecuarios les siguieron el camellón del LL en caña de azúcar, el surco en cultivos varios y el camellón del LT en caña de azúcar (5,85; 5,80 y 4,50  $\text{imp dm}^{-3}$ , respectivamente), sin diferencias significativas entre ellos.

Los resultados en el camellón del LT en caña de azúcar tampoco difirieron de los obtenidos al muestrear el surco en caña de azúcar manejada mediante el LL (3,96  $\text{imp dm}^{-3}$ ), el camellón en cultivos varios (3,65  $\text{imp dm}^{-3}$ ) y el surco en caña de azúcar mediante el LT (3,52  $\text{imp dm}^{-3}$ ).

La mayor compactación en las áreas con fines pecuarios provocó un aumento en la densidad del suelo, lo que puede influir en la disminución de la porosidad total y la aireación y en la reducción de la tasa de infiltración de agua. Además, aumentó los riesgos de hidromorfia, con el consiguiente incremento del proceso de pseudogleyización al que son propensos los suelos Vertisoles (caracterizados por su impermeabilidad y drenaje deficiente). Además, se dificulta el adecuado desarrollo radical de las plantas.

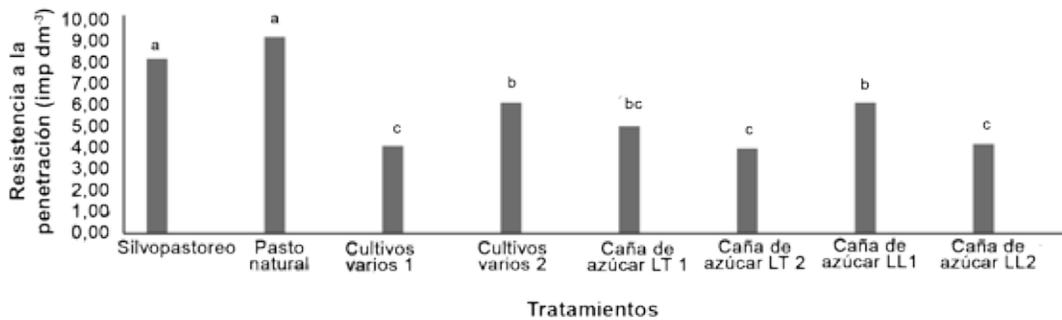
Álvarez *et al.* (2012) plantearon que en las áreas con pastizales, la densidad del suelo presenta diferencias relacionadas con el sistema de manejo, y que esta propiedad física aumenta en los sitios en los que existen condiciones de estrés y pisoteo del ganado. Asimismo, Cabrera *et al.* (2011) señalaron que la densidad del suelo aumentó debido a la influencia de la carga animal y el pisoteo del ganado; respecto a las condiciones de humedad del suelo, este incremento fue mayor en el suelo húmedo que en el suelo seco.

Por otra parte, la resistencia a la penetración aumentó a medida que se profundizó en el perfil del

Tabla 1. Conformación de los tratamientos.

Tratamiento	Uso de la tierra	Sistema de labranza	Sitio de muestreo
Silvopastoreo	Silvopastoreo		
Pasto natural	Pasto natural		
Cultivos varios 1	Cultivos varios		Camellón
Cultivos varios 2			Surco
Caña de azúcar LT 1	Caña de azúcar	LT	Camellón
Caña de azúcar LT 2			Surco
Caña de azúcar LL 1		LL	Camellón
Caña de azúcar LL 2			Surco

LT: laboreo tradicional, LL: laboreo localizado.



a, b, c: valores con superíndices no comunes difieren a  $p < 0,05$  (Duncan, 1955).

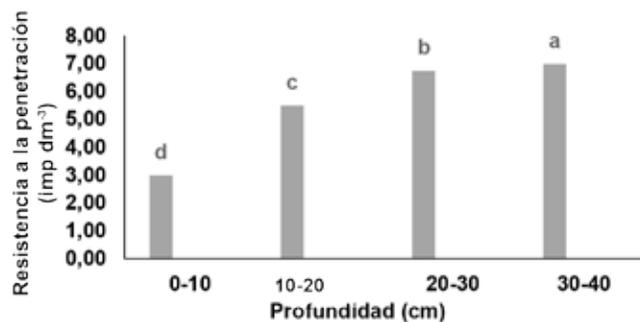
Figura 1. Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico cálcico, con diferentes usos de la tierra, sistemas de labranza y sitios de muestreo.

suelo (fig. 2), ya que se encontraron valores de 3,03; 5,46; 6,48 y 6,85 imp dm<sup>-3</sup> en las profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm, respectivamente. Hubo diferencias altamente significativas en todas las capas. El incremento de la compactación pudo estar relacionado con la disminución de la materia orgánica (MO) en los horizontes inferiores.

El aumento de la compactación a medida que es mayor la profundidad, el cual puede relacionarse con la contracción del contenido de MO y la formación de un horizonte B con predominio de minerales arcillosos, provoca la reducción del volumen de agua gravitacional en el interior de los Vertisoles. La disminución del movimiento del agua en el suelo impide el lavado correcto y esto ocasiona un alto nivel de carbonatación. Además, se incrementa el riesgo de salinización al que son propensos los Vertisoles.

Ponce (2003) planteó que la disminución del contenido de MO afecta la estructura y, por ende, la densidad del suelo. Este efecto es mucho más apreciable en los horizontes subsuperficiales, en los que la compactación no se puede atribuir al tránsito de la maquinaria agrícola ya que esta solo incide en los primeros centímetros de profundidad, donde provoca la compactación mecánica del suelo.

En un Vertisol Pérido típico de la región central de Cuba, sometido a diferentes manejos, Cabrera *et al.* (2001) observaron que la disminución de la MO a medida que aumentó la profundidad (0-20 y 20-40 cm) coincidió con la reducción del grado de agregación, el coeficiente de estructura, los agregados estables, el coeficiente de filtración y el volumen de aireación. Además, informaron que el deterioro físico del suelo fue menos acentuado cuando se incluyó fertilización orgánica (cachaza, a



a, b, c: valores con superíndices no comunes difieren a  $p < 0,05$  (Duncan, 1955).

Figura 2. Influencia de la profundidad en la resistencia a la penetración de un suelo Vertisol Crómico cálcico.

razón de 50 t ha<sup>-1</sup>). En el tratamiento en que se aplicó cachaza y se realizó además un subsolado con topes, las diferencias entre las dos profundidades fueron menos apreciables. Estos autores plantearon que existe una relación lineal simple, fuerte y directa entre los tres primeros indicadores físicos y la MO del suelo.

Asimismo, González *et al.* (2009) informaron acerca de la importancia de la MO en el mejoramiento de la estructura del suelo, al favorecer la formación y estabilidad de los agregados; así como en la disminución de la compactación y el aumento del intervalo de humedad en que el suelo puede ser trabajado.

El comportamiento en el pasto natural fue similar al del silvopastoreo (fig. 3), ya que la resistencia a la penetración aumentó bruscamente hasta los 20 cm de profundidad, lo que indicó la formación de una capa subsuperficial compactada. Esto también fue muy acentuado en el camellón en caña de azúcar, donde la preparación de tierra se realizó de forma localizada. En este caso, la cantidad de impactos por decímetro cúbico no igualó a la

determinada en las áreas de uso pecuario, y aunque la mayor compactación se encontró en el horizonte de 15-20 cm, el espesor de dicha capa compactada resultó menor que en los usos antes mencionados.

Resulta notable que la mayor compactación en cultivos varios se encontrara en el surco y no en el camellón, como sucedió en el uso caña de azúcar, en sus dos sistemas de labranza. Este comportamiento se debe al empleo inadecuado de los implementos agrícolas con tracción animal. Aunque desde el punto de vista agrotécnico los efectos perjudiciales son menores, el uso del arado de vertedera americano y del criollo (para la roturación y el surcado, respectivamente), a una misma profundidad, ha provocado la aparición de una capa compactada con características similares a la existente en caña de azúcar en el camellón con laboreo localizado.

En el resto de los tratamientos, la resistencia del suelo a la penetración también tendió a aumentar con el incremento de la profundidad, lo cual fue más notable en el LT en caña de azúcar, así como en el surco de ese mismo uso, cuando se realizó el laboreo localizado.

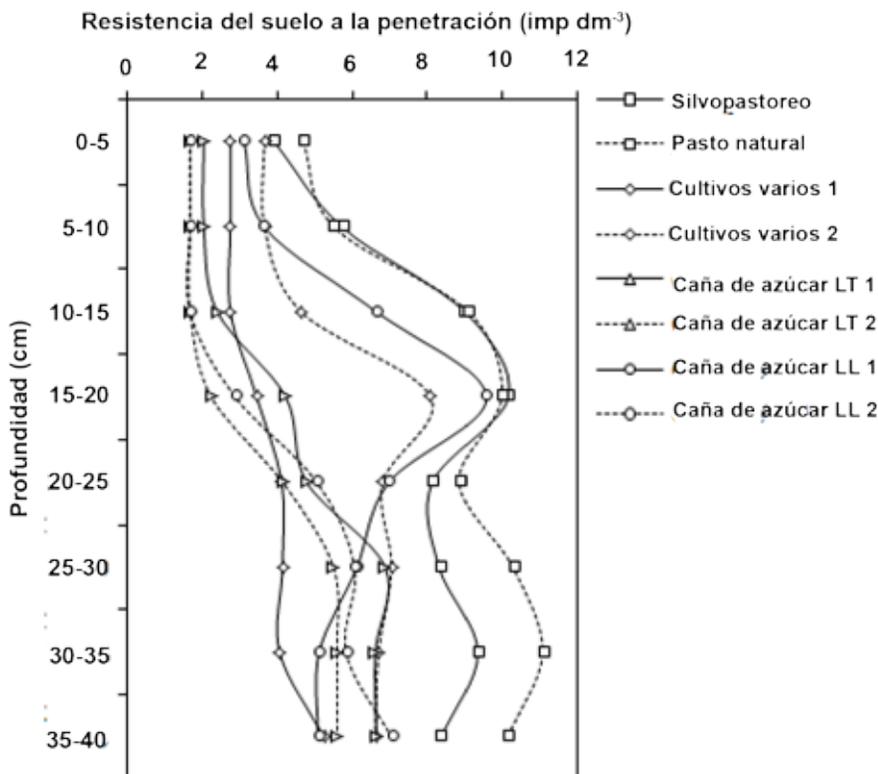


Figura 3. Resistencia del suelo a la penetración con el aumento de la profundidad.

En silvopastoreo se encontró una capa medianamente compactada (tabla 2), en toda la profundidad; mientras que en pasto natural la capa de suelo con igual categoría sobreyació en un horizonte compactado a los 30-40 cm.

Por otra parte, el suelo en cultivos varios, en el camellón, se clasificó como poco compactado en la profundidad de 0-10 cm, y como medianamente compactado en la de 10-40 cm; mientras que en el surco se mostró medianamente compactado en todas las profundidades. La menor compactación en la superficie (0-10 cm) del camellón respecto al surco se pudo deber al cultivo frecuente realizado con tracción animal en estas franjas de la plantación.

En caña de azúcar con LT se encontró en el camellón una capa superficial poco compactada, sobreyacente en los siguientes 30 cm clasificados como medianamente compactados. En el surco, la capa superficial poco compactada se prolongó hasta los 20 cm. Por debajo de esta profundidad existió un aumento de la compactación.

Asimismo, al preparar la tierra con LL no se halló en el camellón una capa superficial poco compactada. La divergencia en igual sitio de muestreo, en un mismo uso de la tierra con diferente manejo, se debió a que la resistencia mecánica del suelo fue poco perturbada durante el LL.

De acuerdo con lo señalado por Jaramillo (2002), cuando se realiza el LL el suelo debe ser friable y tener un grado de humedad óptimo para que se obtenga la máxima eficiencia en la labor. La primera condición no se cumplió en el caso de los Vertisoles Crómicos, ya que el alto contenido de arcillas montmorilloníticas en todo el perfil del suelo le confiere una gran plasticidad y una baja capacidad de infiltración y aireación, lo que provoca que su consistencia sea firme cuando se encuentra en estado húmedo, y compacta, cuando está seco. Pulido *et al.* (2009) plantearon que el alto contenido de arcilla de los Vertisoles les confiere una alta estabilidad estructural al humedecimiento.

Tabla 2. Densidad aparente correlacionada con los resultados de la penetrometría y las categorías de compactación.

Profundidad (cm)	Densidad del suelo (Mg m <sup>-3</sup> )	Categoría	Densidad del suelo (Mg m <sup>-3</sup> )	Categoría
		Silvopastoreo	Pasto natural	
0-10	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
10-20	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
20-30	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
30-40	1,11-1,30	MC	1,31-1,40	C
		Cultivos varios 1	Cultivos varios 2	
0-10	0,95-1,10	PC	1,11-1,30	MC
10-20	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
20-30	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
30-40	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
		Caña de azúcar LT 1	Caña de azúcar LT 2	
0-10	0,95-1,10	PC	0,95-1,10	PC
10-20	1,11-1,30	MC	0,95-1,10	PC
20-30	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
30-40	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
		Caña de azúcar LL 1	Caña de azúcar LL 2	
0-10	1,11-1,30	MC	0,95-1,10	PC
10-20	1,11-1,30	MC	0,95-1,10	PC
20-30	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC
30-40	1,11-1,30	MC	1,11-1,30	MC

PC: poco compactado, MC: medianamente compactado, C: compactado.

En el surco de caña de azúcar con una preparación de tierra localizada, la compactación de las diferentes profundidades fue similar a la observada en ese mismo sitio de muestreo, pero con LT.

Las diferentes categorías de compactación se correlacionan con un rango de densidad del suelo específico para cada caso. Blanco (2009) obtuvo una ecuación de regresión que explica el 60 % de la variabilidad de la densidad del suelo, a partir de la resistencia mecánica y la plasticidad, a capacidad de campo.

El incremento de la compactación provoca deterioro del estado físico del suelo, y trae consigo un aumento de la densidad y una disminución de la porosidad total y de la porosidad de aireación, de lo cual se deriva la disminución del volumen de macroporos. Además, este fenómeno hace que aumente la impermeabilidad y ello ocasiona la disminución de la tasa de infiltración de agua, por lo que se pueden manifestar diferentes estadios de pseudogleización, con problemas de aireación y cambios en las propiedades redox del suelo. También crece el riesgo de salinización.

Por otra parte, hubo una correlación lineal simple y directa entre la resistencia a la penetración en el camellón y en el surco (fig. 4), lo que fue apreciado a través del valor positivo del coeficiente en los usos cultivos varios y caña de azúcar con LT. La mayor probabilidad de que la variable dependiente se incremente cuando aumenta la independiente existió en este último (85,97 %). En el caso del LL

en caña de azúcar, el valor de  $r$  mostró que no existió relación entre las variables, ya que su valor fue inferior a 0,5.

En este sentido, una preparación de tierra mucho más uniforme pudo ser la causa del mayor coeficiente de correlación en caña de azúcar con LT y en cultivos varios. Por otra parte, la menor incidencia de los implementos agrícolas sobre el camellón explica, en el caso de caña de azúcar con LL, la no existencia de relación entre las variables.

## CONCLUSIONES

La mayor resistencia del suelo a la penetración se encontró en pasto natural y en silvopastoreo, lo cual se relacionó con el uso con fines pecuarios y el encharcamiento.

La resistencia a la penetración aumentó a medida que se profundizó en el suelo.

La mayoría de las profundidades se categorizaron como poco compactadas y medianamente compactadas; las primeras aparecieron en la superficie, con variaciones en cuanto a su espesor. Solamente se encontró una capa compactada en la profundidad de 30-40 cm en pasto natural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, Carina R.; Fernández, Patricia L.; & Taboada, M. A. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos en la región pampeana. *Ciencia del Suelo*. 30 (2):173-178, 2012.

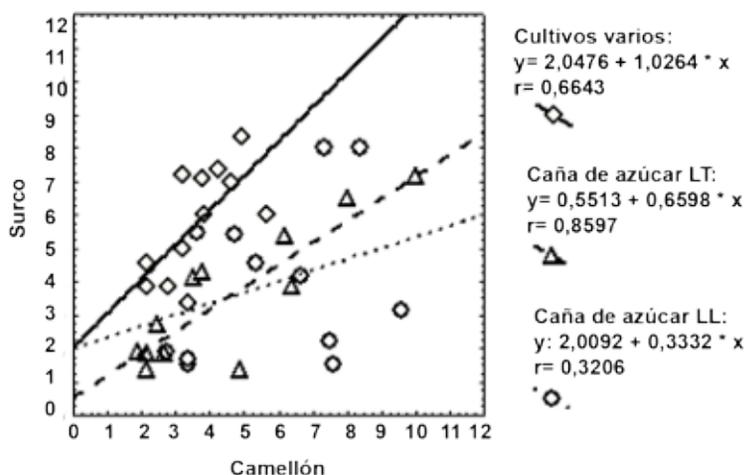


Figura 4. Correlación entre la resistencia a la penetración en el camellón y en el surco, en los usos caña de azúcar con diferentes sistemas de labranzas y en cultivos varios.

- Andreola, F.; Costa, L. M. & Olszewski, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 24 (4):857-865, 2000.
- Blanco, María del C.; Amiotti, Nilda M. & Soria Herrera, Lourdes. Cambios inducidos por la implantación de olivos sobre las propiedades edáficas en el sur bonaerense. *Ciencia del Suelo*. 23 (2):189-196, 2005.
- Blanco Sepúlveda, R. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*. 43:231-239, 2009.
- Buol, S. W. & Stokes, M. L. Soil profile alteration under long-term, high-input agriculture. In: R. J. Buresh, P. Sánchez and F. Calhoun, eds. *Replenishing soil fertility in Africa*. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. SSSA Special Publication Number 51. p. 97-109, 1997.
- Cabrera, Flavia S.; Cholaky, Carmen & Becker, Analía. Propiedades hidrofísicas de un Hapludol típico de Córdoba en relación al pisoteo animal. *Ciencia del Suelo*. 29 (2):141-150, 2011.
- Cabrera Moreira, S.; Fernández, Noemí & Abreu, E. O. Relación de los índices estructurales tradicionales con los criterios energéticos de evaluación del estado físico del suelo. *Revista de Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 10 (2):57-61, 2001.
- Cairo Cairo, P. & Fundora Herrera, O. *Edafología*. 2da ed., 1ra. reimp. La Habana: Editorial Félix Varela, 2005.
- Cuéllar, I.; Villegas, R.; de León, M. & Pérez, H. *Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba*. La Habana: Ediciones Publicina, 2002.
- Devine, S.; Markewitz, D.; Hendrix, P. & Coleman, D. Soil aggregates and associated organic matter under conventional tillage, no-tillage, and forest succession after three decades. *PLoS One*. 9 (1):1-12, 2014.
- Gaitán, J. J.; López, C. R. & Bran, D. E. Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación en la estepa patagónica. *Ciencia del Suelo*. 27 (2):261-270, 2009.
- González, O.; Iglesias, C. E. & Herrera, M. Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 18 (2):57-63, 2009.
- Hernández, A.; Bojórquez, J. I.; Morell, F.; Cabrera, A.; Ascanio, M. O.; García, J. D. et al. *Fundamentos de la estructura de los suelos tropicales*. Tepic, México: Universidad Autónoma de Nayarit, 2010.
- Imbellone, Perla & Mormeneo, Liliana. Vertisoles hidromórficos de la planicie costera del río de la Plata, Argentina. *Ciencia del Suelo*. 29 (2):107-127, 2011.
- Imhoff, Silvia; Imvinkelried, H.; Tormena, C. A. & Silva, A. Pires da. Calificación visual a campo de la calidad estructural de Argiudoles bajo diferentes sistemas de manejo. *Ciencia del Suelo*. 27 (2):247-253, 2009.
- Jaramillo, D. F. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, 2002.
- Parra, B. J.; Becker, Analía R. & Cantú, M. P. Condición física de suelos en diferentes sistemas de manejo agrícolas del centro sur de Córdoba. *Ciencia del Suelo*. 29 (2):241-251, 2011.
- Ponce de León Lima, D. *Las reservas de carbono orgánico de los suelos minerales de Cuba. Aporte metodológico al cálculo y generalización espacial*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. San José de las Lajas, Cuba: Universidad Agraria de La Habana, 2003.
- Pulido, Mansonia A.; Lobo, Deyanira & Lozano, Zenaida. Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia*. 43 (3):221-230, 2009.
- Soane, B. D. The role of organic matter in soil compatibility: A review of some practical aspects. *Soil Till. Res*. 16:179-201, 1990.
- Spera, S. T.; Santos, H. P.; Fontaneli, R. S. & Tomm, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 28 (3):533-542, 2004.
- Stolf, R.; Fernández, J. & Furlani, V. L. Recomendación para uso do penetrómetro de impacto medelo IAA/ Planasucar-Stolf. *Revista Açúcar, Alcool e Subprodutos*. 1 (3):235-241, 1983.
- 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.
- Vieira, M. L. & Klein, V. A. Propiedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 31:1271-1280, 2007.
- Villamil, M. B.; Amiotti, N. M. & Peinemann, N. Disminución del espesor del horizonte A por sobrepastoreo animal en la región sur del Caldenal. En: *Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo «El suelo sustenta la vida»*. Asociación Argentina de Ciencias de la Suelo. Mar del Plata, Argentina. [CD-ROM], 2000.