

Artículo científico

Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con pasto natural

Resistance to penetration in a Chromic Vertisol with natural pasture

Juan Alejandro Villazón-Gómez¹, George Martín-Gutiérrez², Yakelín Cobo-Vidal² y Daniel Hernández-Rojas²

¹Universidad 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

E-mail: villazon@fca.uho.edu.cu

²Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA), Programa Integral de Manejo Agronómico (PIMA). Holguín, Cuba

Resumen

El estudio tuvo como objetivo caracterizar la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con pasto natural. Las determinaciones se realizaron en 61 puntos, cada 0,50 m, a lo largo de un transecto de 30 m de longitud, en las profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 y 0-30 cm. Para la descripción univariada se utilizaron métodos numéricos y gráficos y la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Existió un incremento de la resistencia a la penetración en la capa de 10-20 cm, donde fueron mayores todas las medidas de posición menos el valor mínimo, así como las de dispersión. Los resultados de la curtosis indicaron que, en las colas de la distribución de la resistencia a la penetración en la capa intermedia, hubo mayor cantidad de observaciones que en las colas de una distribución normal. Los porcentajes de resistencia a la penetración (del total de observaciones) fueron: 29,51 y 74,49 % en la profundidad de 0-10 cm; 19,67 y 79,30 % en 10-20 cm; y 26,20 y 73,77 % en 20-30 cm. Se concluye que, de acuerdo con los valores hallados en las tres profundidades, la resistencia puede clasificarse de moderada a alta.

Palabras clave: compactación del suelo, pastoreo, propiedades físico-químicas suelo.

Abstract

The objective of the study was to characterize the resistance to penetration in a Chromic Vertisol with natural pasture. The determinations were made on 61 spots, every 0,50 m, along a 30 m long transept, at the depths of 0-10, 10-20, 20-30 and 0-30 cm. For the univariate description, numeric and graphic methods and the Kolmogorov-Smirnov normality test were used. There was an increase of resistance to penetration in the 10-20 cm layer, where all the position measures were higher except the minimum value, as well as the dispersion ones. The kurtosis results indicated that, in the distribution tails of resistance to penetration in the intermediate layer there was higher quantity of observations than in the tails of a normal distribution. The percentages of resistance to penetration (from the total of observations) were: 29,51 and 74,49 % at the depth of 0-10 cm; 19,67 and 79,30 % at 10-20 cm; and 26,20 and 73,77 % at 20-30 cm. It is concluded that, according to the values found in the three depths, resistance can be classified from moderate to high.

Keywords: soil compaction, grazing, soil physical-chemical properties

Introducción

La compactación es uno de los factores edáficos limitantes que se manifiestan durante la realización de las labores agropecuarias (Murillo *et al.*, 2014). En términos agronómicos, es la fuerza ejercida sobre el suelo por la labranza y por el tránsito de la maquinaria agrícola; lo que provoca el incremento de la densidad del suelo y, por ende, la disminución de su porosidad (Soil Science Society of America, 2013). Constituye una de las formas de degradación física de los suelos (Lal, 2015) que se han acentuado en los últimos años, con el avance tecnológico de la agricultura, por el uso de maquinaria agrícola cada vez más grande y de mayor peso (Reichert *et al.*, 2007).

Esta puede ser establecida indirectamente a partir de determinadas propiedades físicas del suelo, entre ellas, la resistencia a la penetración (Hamza y Anderson, 2005); y se relaciona muchas veces con la disminución de los rendimientos agrícolas (Vaca-García *et al.*, 2014), ya que el desarrollo radicular de las plantas depende, en gran medida, de la impedancia mecánica que opone el suelo. Se acepta, generalmente, que la resistencia mecánica a la penetración es crítica cuando la elongación de las raíces se detiene (Pilatti *et al.*, 2012). La compactación se manifiesta, tanto en áreas agrícolas como en zonas de pastoreo, en una capa que puede

localizarse en los primeros 20 cm de profundidad (Reichert *et al.*, 2007). En estas últimas su estudio resulta de gran importancia, pues, de acuerdo con lo señalado por Crespo (2015), la fitomasa radicular de los pastos representa una fuente sustancial de nutrientes que se reciclan en el pastizal, sobre todo en los primeros 10 cm del suelo. Además, según Nantes *et al.* (2013), las gramíneas son la principal fuente de alimentación de los rumiantes en las regiones tropicales.

Los vertisoles en la región oriental de Cuba se encuentran distribuidos en la faja de clima tropical subhúmedo seco, con precipitaciones por debajo de 1 000-1 200 mm anuales y a menos de 100-200 m sobre el nivel del mar (Hernández-Jiménez, 2004). Estos suelos se caracterizan por presentar un horizonte principal de diagnóstico vértico en los primeros 150 cm de profundidad, con un espesor arcilloso considerable, plástico en estado húmedo y duro cuando está seco, de color oscuro y con una estructura en bloques prismáticos, con *slickensides*, agrietamiento profundo y microrrelieve gilgai (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015). En la fracción arcilla predominan los minerales esmectíticos (Sotelo Ruiz *et al.*, 2013). Algunos autores señalan que una rotación ideal en vertisoles debe incluir entre 50 y 60 % de pasturas y de 40 a 50 % de agricultura, para de esta forma mantener adecuadas condiciones estructurales (Cerana *et al.*, 2006).

Basado en lo planteado anteriormente, el objetivo de este estudio fue caracterizar la resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con pasto natural.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el año 2016, en un suelo Vertisol Crómico (Hernández-Jiménez *et al.*, 2015) bajo pasto natural (con un sistema de explotación extensivo) ubicado en áreas de la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Holguín (20° 40' 18" de latitud norte y 75° 47' 04" de longitud oeste). Se determinó la resistencia a la penetración en 61 puntos ubicados cada 0,5 m a lo largo de un transecto de 30 m de longitud.

Para ello se utilizó un penetrómetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf (Stolf *et al.*, 1983), con la masa impactadora de 4 kg regulada a 0,40 m de altura. La transformación de la cantidad de impactos por decímetros a megapascales (MPa) se realizó a través de la expresión matemática planteada por Stolf (1991):

$$RP \text{ (MPa)} = 0,547 + 0,675N$$

Donde *RP* es la resistencia a la penetración y *N* es la cantidad de impactos por decímetros. Estos resultados se expresaron en intervalos constantes (10 cm), hasta los 30 cm de profundidad y se agruparon en las siguientes clases (tabla 1).

Tabla 1. Clases según el nivel de resistencia a la penetración.

Clase	Resistencia a la penetración (MPa)
1	1,2-1,4
2	1,4-1,6
3	1,6-1,8
4	1,8-2,0
5	2,0-2,2
6	2,2-2,4
7	2,4-2,6
8	2,6-2,8
9	2,8-3,0
10	3,0-3,2
11	3,2-3,4
12	3,4-3,6
13	3,6-3,8

Se determinó la humedad gravimétrica, también a lo largo del transecto, cada 3 m y en los diez puntos múltiplos de 6 (6, 12, 18... 60). El análisis exploratorio de datos realizado a la humedad gravimétrica se muestra en la tabla 2.

Análisis estadístico. Para la descripción univariada se utilizaron métodos numéricos (medidas de localización, de dispersión y de forma) y gráficos (histogramas y curvas de normalidad), y la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. En el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el software SPSS® 22.0.

Resultados y Discusión

El comportamiento de las medidas de localización del centro y de las colas de distribución de las medias de resistencia a la penetración por profundidad se muestra en la tabla 3. La mayor resistencia a la penetración (mayor media) se encontró en la capa de 10-20 cm, mientras que el menor valor se localizó en la capa superficial (0-10 cm). Sin embargo, no existió un incremento en dicho indicador después de los 20 cm. Ello pudo deberse al efecto negativo del pisoteo animal sobre la resistencia a la penetración, por condiciones inadecuadas de humedad del suelo.

Tabla 2. Comportamiento de las medidas de localización, dispersión y forma de distribución de los valores de humedad gravimétrica.

Prof. (cm)	Media	Mediana	ES ±	Mínimo	Máximo	Varianza	DE	CV (%)	Asimetría	Curtosis
0-10	0,212	0,210	0,005	0,190	0,246	0,000	0,017	7,97	0,763	0,457
10-20	0,208	0,206	0,005	0,189	0,237	0,000	0,015	6,96	0,830	0,498
20-30	0,254	0,258	0,007	0,217	0,290	0,001	0,023	9,20	-0,217	-0,755
0-30	0,225	0,222	0,004	0,208	0,246	0,000	0,012	5,41	0,705	-0,155

Prof.: profundidad, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Tabla 3. Comportamiento de las medidas de localización, dispersión y forma de la distribución de los valores de resistencia a la penetración por profundidad.

Prof. (cm)	Media	Mediana	ES ±	Mínimo	Máximo	Varianza	DE	CV (%)	Asimetría	Curtosis
0-10	2,322	2,235	0,061	1,391	3,440	0,228	0,477	20,57	0,448	-0,284
10-20	2,535	2,589	0,073	1,391	3,729	0,328	0,573	22,60	0,154	-0,692
20-30	2,337	2,235	0,054	1,511	3,681	0,175	0,419	17,93	0,611	0,611
0-30	2,398	2,388	0,050	1,602	3,172	0,150	0,388	16,16	0,110	-0,726

Prof.: profundidad, DE: desviación estándar, CV: coeficiente de variación.

Así Villazón *et al.* (2015), en un suelo Vertisol Crómico bajo pasto natural, determinaron un incremento de la resistencia a la penetración por debajo de los 10 cm de profundidad, sin que existieran variaciones notables de la compactación del suelo en las capas ubicadas a mayor profundidad.

Por otra parte, se aprecia el efecto inversamente proporcional de la humedad del suelo sobre la resistencia a la penetración. Baio *et al.* (2017), al estudiar dicho indicador en un suelo Latosol Rojo plantado con algodón, hallaron que, tanto en el surco como en el espacio entre surcos, la disminución de la humedad del suelo estimulaba el incremento de los valores de resistencia a la penetración. También Elisei (2017), al estudiar suelos Argiudoles bajo lotes de sistemas agrícolas con más de 10 años de siembra directa, modeló ecuaciones inversas y exponenciales entre la humedad del suelo (gravimétrica) y la resistencia a la penetración.

La cercanía de los valores de la media y de la mediana indicó que no existían observaciones extremas de resistencia a la penetración, en los conjuntos de datos, que hicieran desplazarse a la primera medida de localización mencionada. En la capa de 20-30 cm las diferencias entre estas dos medidas fueron menos notables.

Los valores mínimos fueron iguales en las dos primeras capas y mayores en el horizonte más pro-

fundo; mientras que el máximo valor se encontró en la capa de 10-20 cm, seguido por las profundidades de 20-30 y de 0-10 cm. El comportamiento por profundidad de los mínimos y los máximos indicó un mayor rango en la capa intermedia. De esta forma, las colas de distribución de los valores de RP en la capa de 10-20 cm aparecían más alejadas del centro que en las demás profundidades.

En cuanto a las medidas de dispersión, se observó que la capa intermedia mostró los mayores valores de varianza, desviación estándar y coeficiente de variación; y que, en el caso de la última medida de dispersión, en ninguna profundidad la resistencia a la penetración superó el 30 %, considerado por Espino-Soto y Arcia-Porrúa (2009) como el límite máximo aceptado para las investigaciones agronómicas.

La dispersión (variabilidad) de la resistencia a la penetración, sobre todo en las dos primeras profundidades, pudo estar dada por la distribución espacial heterogénea del pisoteo animal, según Zepa *et al.* (2013); quienes, en suelos bajo pasturas, encontraron un mayor coeficiente de variación por encima de los 20 cm de profundidad.

En el caso de las medidas de forma, la menor asimetría se halló en la capa de 10-20 cm. En esta capa, al igual que en las otras dos, la asimetría tuvo valores cercanos a 0; por lo que todas las distribu-

ciones, que en general nunca presentaron simetría con algún valor, estaban sesgadas positivamente, al mostrar la cola de distribución hacia la derecha.

Además, el comportamiento de la curtosis en las tres profundidades indicó que la distribución de la resistencia a la penetración tuvo un pico menos agudo (curtosis platicúrtica) que la distribución normal, al mostrar valores menores que 1 (Freixa-Blanxart *et al.*, 1992); ello indica que en las colas hubo más valores acumulados que en las colas de una distribución normal.

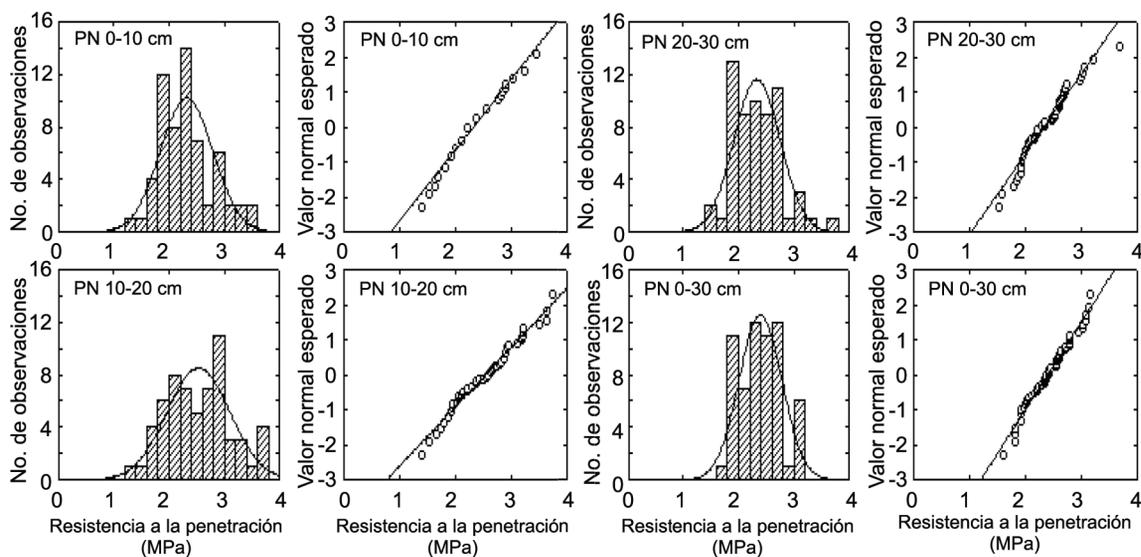
La figura 1 muestra los histogramas y las curvas de normalidad de la resistencia a la penetración por profundidad. En la capa de 0-10 cm, la resistencia a la penetración a lo largo del transecto se clasificó dentro de las categorías moderada (1-2 MPa) y alta (2-4 MPa), según Arshad *et al.* (1996), para un 29,51 y 74,49 % del total de observaciones, respectivamente. La mayor tendencia de la resistencia a la penetración se localizó en la sexta clase, que agrupó los valores entre 2,2 y 2,4 MPa (22,95 %); en la cuarta clase, con un rango entre 1,8 y 2,0 MPa, con 12 puntos de muestreo (19,67 %); y en la quinta clase, que concentró los valores entre 2,0 y 2,2 MPa, con ocho puntos (13,11 %).

En la capa de 10-20 cm, el 19,70 % de las observaciones se incluyó dentro de la categoría de resistencia a la penetración moderada y el 79,30 % se consideró alta. La novena clase concentró la mayor cantidad de observaciones (11 en total, para un 18,03 % de los sitios de muestreo con una resis-

tencia a la penetración en un rango de 2,8-3,0 MPa), seguida por las clases quinta (con ocho observaciones, para un 13,11 %), sexta (con siete puntos de muestreo, para el 11,48 %) y octava (también con siete observaciones), que agruparon los sitios de muestreo donde la resistencia a la penetración fue de 2,0-2,2; 2,2-2,4 y 2,6-2,8 MPa, respectivamente.

En la capa de 20-30 cm, el 26,20 % de las observaciones se clasificaron como moderadas, mientras que el 73,80 % se incluyeron dentro de la categoría de altas. La mayor tendencia se acumuló en la clase cuarta, donde se agruparon 13 observaciones, para un 21,31 %. A esta clase se le suman la octava, la sexta, la quinta y la séptima, que comprendían 33 puntos de muestreo (63,93 %) con una resistencia a la penetración que varió entre 2,0 y 2,8 MPa.

De esta forma, en la capa superficial (0-10 cm), 40 puntos de muestreo mostraron una resistencia a la penetración inferior a 2,5 MPa, para un 65,57 % de observaciones por debajo del límite crítico propuesto por Pilatti *et al.* (2012). En la capa intermedia (10-20 cm) disminuyó, con respecto a la capa superficial, el número de sitios de muestreo por debajo de 2,5 MPa, ya que se encontraron solo 28 observaciones, lo que representó el 45,90 % del total de muestreos realizados. En la capa inferior (20-30 cm) se evidenció un aumento de los puntos con una resistencia a la penetración inferior al límite crítico (37 sitios de muestreo, para un 60,66 %). Al evaluar el comportamiento de la compactación hasta los 30 cm de profundidad se observó una resis-



PN: Pasto natural.

Figura 1. Histogramas y curvas de normalidad en las diferentes profundidades.

tencia a la penetración por debajo de 2,5 MPa en 36 puntos muestreados, para un 59,02 %.

Los resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (tabla 4) mostraron que en las capas de 0-10 y 20-30 cm no hubo una distribución normal de los datos. De forma diferente se comportó la resistencia a la penetración en las profundidades de 10-20 y 0-30 cm, donde las pruebas de normalidad mostraron resultados con una significación de 0,200.

Tabla 4. Resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov*.

Profundidad (cm)	Estadístico	Significación
0-10	0,126	0,013
10-20	0,086	0,200**
20-30	0,104	0,098
0-30	0,071	0,200**

*Corrección de significación de Lilliefors, **Limite inferior de la significación verdadera.

De esta forma, los datos de resistencia a la penetración en las profundidades de 10-20 y 0-30 cm no difirieron significativamente de una población normal.

Conclusiones

La mayor resistencia a la penetración se encontró en la capa de 10-20 cm, seguida por la capa de 20-30 cm. La menor media se determinó en la capa superficial (0-10 cm). En la capa de 10-20 cm también fue mayor la diferencia entre los valores mínimo y máximo, y fueron mayores las medidas de dispersión. Los resultados de la curtosis indicaron que en las colas de la distribución de la resistencia a la penetración en la capa intermedia hubo mayor cantidad de observaciones que en las colas de una distribución normal. Asimismo, en las tres profundidades, los valores de resistencia a la penetración se clasificaron dentro de las categorías de moderada y alta.

Referencias bibliográficas

Arshad, M. A.; Lowery, B. & Grossman, B. Physical test for monitoring soil quality. In: J. W. Doran and A. J. Jones, eds. *Methods for assessing soil quality*. Special Publication 49. Madison, USA: Soil Science Society of America. p. 123-142, 1996.

Baio, F. H. R.; Scarpin, I. M.; Roque, C. G. & Neves, D. C. Soil resistance to penetration in cotton rows and interrows. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 21 (6):433-439, 2017.

Cerana, J. A.; Wilson, M.; Battista, J. J. de; Noir, J. & Quintero, C. Estabilidad estructural de los Vertisoles de Entre Ríos en un sistema arrocero regado con agua subterránea. *RIA*. 35 (1):87-106, 2006.

Crespo, G. Factores que influyen en el reciclaje de nutrientes en pastizales permanentes, avances en el desarrollo de su modelación. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 49 (1):1-10, 2015.

Elisei, J. Influencia de la humedad del suelo en la resistencia a la penetración vertical. *Rev. tecnol. agropecu.* 10 (33):18-20, 2017.

Espino-Soto, Ayda & Arcia-Porrúa, J. *Estadística aplicada para las ciencias y la docencia. Estadística aplicada a las ciencias biológicas y agrícolas*. La Habana: Editorial PUBLINICA, 2009.

Freixa-Blanxart, Montserrat; Salafranca-Cosials, L. & Guàrdia-Olmos, J. *Análisis exploratorio de datos: Nuevas técnicas estadísticas*. Barcelona, España: Pobligráfico S. A., 1992.

Hamza, M. A. & Anderson, W. K. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Res.* 82 (2):121-145, 2005.

Hernández-Jiménez, A. Impactos de los cambios globales en los suelos de las regiones secas. *Agricultura Orgánica*. 2:8-9, 2004.

Hernández-Jiménez, A.; Pérez-Jiménez, J. M.; Bosch-Infante, D. & Castro-Speck, N. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Mayabeque, Cuba: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelos, Ediciones INCA, 2015.

Lal, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*. 7:5875-5895, 2015.

Murillo, J.; Rodríguez, G.; Roncallo, B.; Rojas, Leila A. & Bonilla, Ruth R. Efecto de la aplicación de prácticas sostenibles en las características físicas, químicas y microbiológicas de suelos degradados. *Pastos y Forrajes*. 37 (3):270-278, 2014.

Nantes, Nayana N.; Euclides, Valeria P. B.; Montagner, Denise B.; Lempp, Beatriz; Barbosa, R. A. & Gois, P. O. de. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. *Pesq. Agropec. Bras.* 48 (1):114-121, 2013.

Pilatti, M. A.; De Orellana, J.; Imhoff, Silvia del C. & Silva, Á. P. da. Actualización de los límites críticos del intervalo hídrico óptimo. *Cienc. suelo*. 30 (1):9-21, 2012.

Reichert, J. M.; Sanches-Suzuki, L. E. A. & Reinert, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

Soil Science Society of America. *Glossary of soil science terms*. Madison, USA: Soil Science Society of America, 2013.

- Sotelo-Ruiz, E. D.; Gutiérrez-Castorena, María del C.; Cruz-Bello, G. M. & Ortiz-Solorio, C. A. Physical, chemical and mineralogical characterization of vertisols to determine their parent material. *Interciencia*. 38 (7):488-495, 2013.
- Stolf, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*. 15:229-235, 1991.
- Stolf, R.; Fernández, J. & Furlani, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto medelo IAA/planasucar-Stolf. *Revista STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*. 1 (3):235-241, 1983.
- Vaca-García, V. M.; Martínez-Villanueva, J. J.; González-Huerta, A.; Morales-Rosales, E. J.; Zamudio-González, B. & Gutiérrez-Rodríguez, F. Compactación de un Vertisol bajo tres sistemas de labranza en maíz (*Zea mays* L.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5 (8):1495-1507, 2014.
- Villazón, J. A.; Martín, G.; Rodríguez, Y. & Cobo, Yakelín. Resistencia a la penetración en un Vertisol Crómico con diferentes usos, manejos y sitios de muestreo. *Pastos y Forrajes*. 38 (2):162-169, 2015.
- Zerpa, G.; Sosa, O.; Berardi, J.; Bolatti, J. P.; Galindo, A. & Maldonado, J. La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*. 35:64-68, 2013.

Recibido el 19 de enero del 2018

Aceptado el 4 de junio del 2018