

Efecto de la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol

Effect of the soil ground pressure in the total porosity of a Rhodic Ferralsol

Omar González Cueto (1), Ciro E. Iglesias Coronel (2), Miguel Herrera Suárez (1), Elvis López Bravo (1), Ángel Sánchez Iznaga (1).

(1) Departamento de Mecanización Agropecuaria, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

(2) Centro de Estudios de Mecanización Agropecuaria, Universidad Agraria de La Habana.

E-mail: omar@uclv.edu.cu.

RESUMEN. Dos de los factores que inciden en la compactación es la presión generada en la interfase neumático-suelo y la humedad, los cuales influyen directamente en la porosidad total. Este trabajo se realizó con el objetivo de determinar el efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol, a partir de la simulación del proceso de compactación en un ensayo de compresión uniaxial. Se determinaron las propiedades físicas del suelo y se obtuvo el valor de la porosidad total para presiones estáticas sobre el mismo de 25, 50, 100, 200 y 400 kPa, durante 30 min. Los resultados muestran que la humedad tiene una influencia significativa en la respuesta del suelo a la compactación y que presiones inferiores a 100 kPa no deben producir efecto significativo sobre la misma.

Palabras clave: porosidad total, compactación, presión sobre el suelo, uniaxial.

ABSTRACT. Two of the factors that condition the compaction are the pressure generated in the interface tire-soil and the moisture, which influence directly in the total porosity. This work was carried out with the objective of determining the effect of the moisture and the soil ground pressure in the total porosity of a Rhodic Ferralsol, starting from the simulation of compaction process in a trial of uniaxial compression. The soil physical properties were determined and the value of total porosity was obtained for static pressures of 25, 50, 100, 200 and 400 kPa on the soil for 30 min. The results show that the moisture has an influence statistically significant in the soil behavior to the compaction and that soil ground pressures less than 100 kPa should not induce significant effect in the soil compaction.

Key words: Total porosity, compaction, soil ground pressure, uniaxial.

INTRODUCCIÓN

Durante el tráfico de la maquinaria agrícola el suelo es compactado y se origina una disminución del volumen de los vacíos a expensas de una reducción del espacio poroso y de su continuidad, lo cual limita la capacidad de retención, el flujo del agua y el aire, y aumenta la impedancia mecánica del suelo debido a su estado más denso, disminuyendo el crecimiento de la raíz y las posibilidades de obtención de nutrientes, agua y aire.

El suelo está compactado cuando el equilibrio entre las unidades estructurales se ha roto, es decir, el volumen total de poros en relación con el volumen

total del suelo no es el adecuado para el crecimiento óptimo del cultivo. (Sánchez Girón, 1996)

La compactación del suelo se puede conocer a través del cambio provocado en propiedades del suelo como la densidad de volumen, porosidad total, índice de poro y volumen específico (Sánchez Girón, 1996; Sánchez Girón y otros., 2001) y por el efecto de esta y otras propiedades en la resistencia a la penetración y la permeabilidad al aire y al agua. (Hakansson *et al.*, 1988)

Los intersticios que las partículas simples y compuestas dejan libres al aglomerarse para formar los agregados del suelo se denominan poros o

espacio poroso y están ocupados por aire y agua o vapor de agua, en proporciones que varían de modo continuo. La porosidad se define como el volumen total de espacios y canales que existe dentro del cuerpo del suelo. (Cairo y Fundora, 2005). Porosidad total (n) es la relación entre el volumen de poros (V_v) y el volumen total del suelo (V). También puede obtenerse a través de:

$$n = (D - D_v) / D, \%$$

Donde:

D : es la densidad real del suelo, g cm^{-3} ;

D_v : la densidad de volumen (densidad aparente) g cm^{-3} .

Una fracción del volumen total de poros resulta del espacio poroso determinado por la distribución granulométrica de las partículas minerales presentes en el suelo, arenas gruesas, arenas finas, limo y arcilla, que constituye la porosidad textural y depende principalmente de las características físicas de los componentes del suelo. La otra fracción del volumen total de poros lo constituye la porosidad estructural, la cual está determinada por los agregados y por la manera en que estos tienden a unirse entre ellos (Sánchez Girón, 1996). Cairo y Fundora (2005), consideran que la macroporosidad depende esencialmente de la estructura y que la microporosidad sobre todo de la textura. La porosidad estructural se puede modificar por acciones externas de origen humano, como el laboreo o el tráfico de máquinas y por acciones naturales como la fuerza de gravedad o los ciclos de humedecimiento y secado. (Sánchez Girón, 1996)

La compactación significa una deformación plástica del suelo, que ocurre a expensas del sistema poroso, de donde el aire y el agua son desalojados. El conocimiento de la respuesta del suelo a la aplicación de una presión, mantenida durante un determinado tiempo, puede expresarse a través de la porosidad total, la cual permite conocer los cambios que el proceso de compactación provoca en el tamaño de los poros y su distribución. Los poros pequeños, menores de 30 μm , apenas son afectados, en cambio los poros mayores a esta magnitud sí, los cuales son los más importantes ya que facilitan el crecimiento de la raíz, el almacenamiento del agua y

el aire, el intercambio gaseoso y son ocupados por la mayoría de los organismos del suelo. (Hakansson *et al.* 1988; Servadio y *otros*, 2001)

Los estudios de compactación del suelo en Cuba han estado dirigidos a evaluar el efecto del tráfico de las máquinas, principalmente las utilizadas en el cultivo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum*), sobre la resistencia del suelo a la compresión y en la densidad de volumen. También respecto al efecto de la humedad en la respuesta del suelo a la compactación, existen investigaciones que demuestran la acción negativa del tránsito de tractores T 150 K, en suelos Rhodic Ferralsol, a capacidad de campo, Tarawally y *col.* (2004); o cuando se trabaja a humedades superiores al límite plástico en suelos arcillosos. Cairo, 1985; Cairo y Fundora, 2005. Sin embargo, no se han realizado estudios que propongan valores permisibles de presión sobre el suelo los cuales provoquen los menores efectos sobre la compactación.

Al experimentar en condiciones de campo es difícil obtener los valores deseados de las propiedades mecánicas en estudio, así como controlar todos los factores que influyen de acuerdo al diseño experimental trazado. Debido a esto se han realizado estudios simulando la compactación mediante pruebas de laboratorio, a partir de los ensayos Proctor, Aragón y *otros*, 2000; Etana y *otros*, 1997; Nhandumbo y Cambule, 2006), o a través de ensayos de compresión uniaxial. (Sánchez Girón y *otros*, 1998, 2001). Estos últimos se realizan con el objetivo de determinar la velocidad y grado de asentamiento que experimentará una muestra al someterla a una serie de incrementos de carga, cuando se realiza en suelos sin saturar describen el proceso de compactación (Gupta y Allmaras, 1987). El procedimiento se basa en aplicar cargas normales a una muestra de suelo (remoldeada o inalterada) confinada lateralmente, contenida en un anillo rígido de metal. En la parte superior e inferior van situadas placas porosas para permitir el flujo del aire y el agua, desalojados durante la deformación del suelo, la cual es medida para los distintos tiempos de aplicación de dichas cargas.

Después que el tiempo total para la aplicación de cada incremento de carga ha concluido, se procede a situar nuevas cargas hasta alcanzar el valor total.

Luego se retiran y se determina la deformación final durante el proceso de alivio de presiones en el suelo. Al final se obtiene el espesor de la muestra y su contenido de humedad.

En el ensayo de consolidación el suelo está sometido solo a carga vertical, y la presión de confinamiento no puede ser medida, sin embargo esto no significa un problema dado que el proceso de compactación está esencialmente regido por la presión normal aplicada por el dispositivo de rodaje del equipo agrícola. (Sánchez Girón y otros, 1998)

El objetivo del trabajo consistió en determinar el efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol, a partir de la simulación del proceso de compactación en un ensayo de compresión uniaxial.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo utilizado fue un Rhodic Ferralsol, extraído de una parcela cercana al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas en la provincia de La Habana a

Gs, Mg m ⁻³	Límites de consistencia (%)			Granulometría (%)			MO (%)
	LL	LP	IP	Arena	Limo	Arcilla	
2,69	61,1	30,7	30,4	19	43	38	3,01

Investigaciones Aplicadas (ENIA), de la provincia de Villa Clara, donde se determinaron las propiedades físicas y la deformación. Estos se realizaron en un edómetro, con muestras de suelo remoldeadas, a 25, 35 y 40 % de humedad y con

densidades de volumen de 1,17 y 1,25 g.cm⁻³.

La secuencia de cargas aplicadas a las muestras fue de: 25, 50, 100, 200 y 400 kPa, y se aplicaron durante 0,5 h. En cada una de ellas se registró la deformación a los 30 min.

Después de colocar la última carga se realiza el proceso de descarga en solo dos pasos. Se realizaron tres repeticiones para cada muestra. A partir de la deformación del suelo obtenida en el ensayo se calculó el índice de poros (*e*) y a partir de este la porosidad total

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las propiedades físicas del suelo (tabla 1), muestran que el suelo es franco arcilloso limoso, con un índice de plasticidad de 30,4 comportándose como un suelo plástico. El límite inferior de plasticidad es de 30,7 %, el cual constituyó el punto de partida para la selección de las humedades a las que se realizaron los ensayos, con una primera humedad de 25 %, inferior al límite plástico y dentro del intervalo de humedades óptimo para realizar los trabajos de la maquinaria en el campo, con dos humedades superiores a este, las de 35 y 40 %, seleccionadas solo con el objetivo de confirmar lo expresado por Cairo y Fundora (2005) con respecto al efecto del tránsito a humedades superiores al límite plástico en la compactación del suelo.

Tabla 1. Características físicas del suelo

Donde

Gs - Densidad real del suelo; LL - límite líquido; LP - límite plástico; IP - índice de plasticidad; MO - cantidad de materia orgánica en el suelo.

El efecto primario de la compactación del suelo es reducir el volumen de poros y causar la redistribución entre las agrupaciones de tamaño de los mismos. Las figuras 1 y 2, muestran que al

augmentar la carga aplicada disminuye la porosidad total, comportándose casi constante desde 25 kPa hasta los 100 kPa. Sin embargo, a partir de este punto se incrementa la reducción de la porosidad,

debido a que las presiones mayores favorecen el trabajo de desplazamiento del aire y agua de los poros. Hakasson y *et al.* (1988) reportan que como resultado de la presión sobre el suelo se produce un incremento de la proporción de poros más pequeños de 30 μm , presumiblemente debido al colapso de los más grandes. Se aprecia, además, menor porosidad en el suelo con mayor densidad de volumen. Al incrementarse la densidad de volumen predominan los poros menores de 30 μm , necesiéndose mayor presión para realizar el trabajo

de compactación, los suelos más densos pierden menos porosidad con el incremento de carga, debido a su mayor resistencia a la compresión, ya a partir de los 400 kPa la porosidad del suelo con 1,25 g cm^{-3} es mayor que la del suelo con 1,17 g cm^{-3} . Estos resultados se corroboran con los de Sánchez Girón (1996), el cual refiere que en los suelos más sueltos el número de macroporos es mayor que en los suelos más compactos y el efecto de la compactación se aprecia en primera instancia en estos.

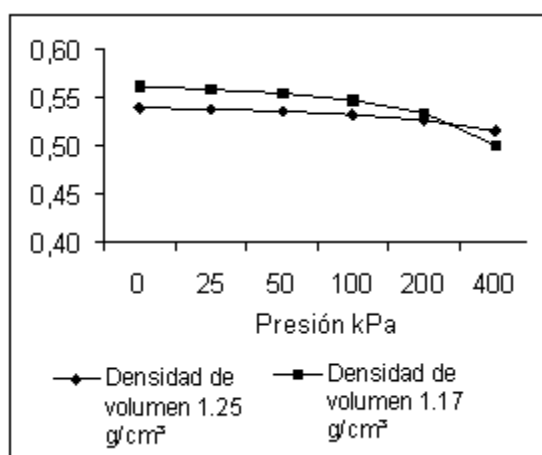


Figura 1. Porosidad total para un 25 % de humedad

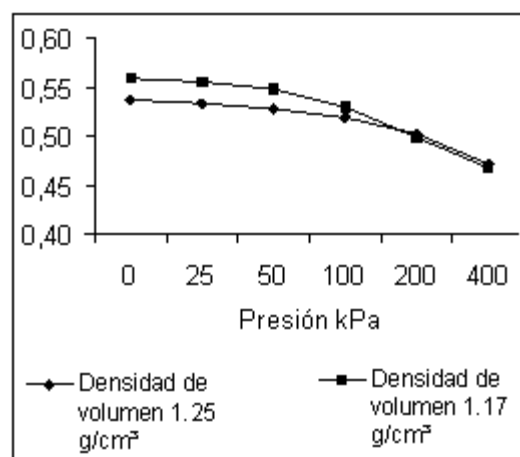


Figura 2. Porosidad para 40 % de humedad

La tabla 2, muestra el comportamiento de la porosidad total promedio para cada incremento de carga, donde se aprecia cómo el aumento de la humedad origina una disminución de la porosidad, mientras el incremento de carga con 35 % de humedad provoca una mayor disminución de la

misma que con 25 %. En las celdas sombreadas y en la figura 3 se aprecia que la porosidad con una presión de 400 kPa, en 25 % de humedad, es mayor y origina una disminución de la porosidad menor que una carga de 100 kPa a una humedad de 35 %.

Tabla 2. Porosidad promedio, densidad de volumen 1,25 g cm^{-3}

Presión kPa	Humedad 25 %			Humedad 35 %		
	Porosidad Promedio	Error Standard	Dismin. porosidad	Porosidad Promedio	Error Standard	Dismin. porosidad
0	0,538 a		-	0,531 d		-
25	0,537 a	0,0016	-0,001	0,529 d	0,002	-0,002
50	0,535 a	0,0015	-0,002	0,525 d	0,002	-0,004
100	0,532 a	0,0015	-0,003	0,513 d	0,007	-0,012
200	0,528 b	0,0006	-0,006	0,494 e	0,014	-0,019
400	0,514 c	0,0019	-0,012	0,464 f	0,017	-0,03

Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas ($P < 0,05$), LSD

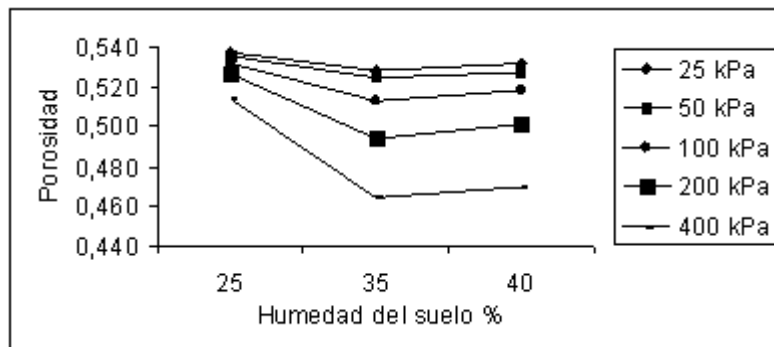


Figura 3. Porosidad del suelo en función de la humedad para cada carga aplicada

Al analizar en conjunto el efecto de la presión y la humedad del suelo, se aprecia que una presión de 400 kPa en un suelo seco va a originar menor compactación que el tránsito de un equipo agrícola que ejerza 100 kPa de presión en un suelo húmedo, coincidiendo con los resultados reportados por Hakasson *et al.* (1988). Se demuestra que el principal factor que contribuye a la compactación es la humedad y se confirma lo expresado por Cairo (1985) y Cairo y Fundora (2005) referente a que los suelos arcillosos no deben trabajarse a una humedad superior al límite plástico ya que conduce a la compactación y apelmazamiento. En las presiones menores de 100 kPa no se detectaron diferencias estadísticas significativas, lo que sugiere que presiones sobre el suelo inferiores a 100 kPa no deben ocasionar cambios representativos en la compactación del suelo. Sin embargo, presiones mayores que 200 kPa originan apreciables cambios en la porosidad total, lo cual indica que debe evitarse el tránsito sobre el suelo de equipos agrícolas de presión mayor a 100 kPa. Estos resultados coinciden con los propuestos por Sánchez Girón (1996), quien recomienda una presión sobre el suelo máxima de 80 kPa, para disminuir el efecto del tránsito de la maquinaria agrícola en la compactación.

El estudio realizado a escala de laboratorio contribuye al conocimiento de la respuesta de la porosidad total ante una presión ejercida. La recomendación del tránsito con presiones sobre el suelo inferiores a 100 kPa puede ser extendida a cualquier tipo de suelo, ya que en sentido general contribuirá a mejorar el estado físico del mismo. Sin embargo, es necesario continuar los estudios con el objetivo de comprobar

a mayor escala o en condiciones naturales los resultados de esta investigación.

CONCLUSIONES

1. La humedad del suelo tiene una influencia significativa en el efecto de la presión sobre el suelo en la porosidad total.
2. Una presión sobre el suelo de 400 kPa en un suelo Rhodic Ferralsol con 25 % de humedad origina menor disminución de la porosidad total que el tránsito de un equipo agrícola con 100 kPa en un suelo con 35 % de humedad.
3. El tráfico de tractores con presión específica inferior a los 100 kPa no debe inducir una disminución significativa de la porosidad total del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARAGÓN, A.; M. G. GARCÍA; R. R. FILGUEIRA AND A. PACHEPSKY: "Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content", *Soil & Tillage Research* (56), 197-204, 2000.
2. CAIRO, P. Y O. FUNDORA: *Edafología*, 475 pp., Editorial Félix Varela, La Habana, 2005.
3. CAIRO, P.: "Propiedades físicas de 6 tipos de suelos de Cuba", *Centro Agrícola* 12 (2): 15-29, 1985.
4. ETANA, A.; R. A. COMIA AND I, HAKANSSON: "Effects

of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils“, *Soil & Tillage Research* (44): 13-21, 1997.

- 5a. GUPTA, S. C. AND R. R. ALLMARAS: “Models to asses the susceptibility of soils to excessive compaction”, in *Advances on Soil Science*, 6: 65-100, ed. B. A. Stewart, New York, Springer Verlag, 1987.
5. HAKANSSON, I; W. B. VOORHEES AND H. RILEY: “Vehicle and heel factors influencing soil compaction crop response in different traffic regimes”, *Soil & tillage research* (11): 239-282, 1988.
6. NHANTUMBO, A. AND A. H. CAMBULE: “Bulk density by Proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique”, *Soil & Tillage Research* (87): 231-239, 2006.
7. SÁNCHEZ GIRÓN, V.; E. ANDREU AND J. L. HERNANZ: “Stress relaxation of five different soil samples when uniaxially compacted at different water contents”, *Soil & Tillage Research* (62): 85-99, 2006.
8. _____: “Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests”, *Soil & Tillage Research* (48): 37-50, 1998.
9. SÁNCHEZ GIRÓN, V.: *Dinámica y Mecánica de Suelos*, 324 pp., Ediciones Agrotécnicas, Madrid, 1996.
10. SERVADIO, PIERANNA; A. MARSILI; M. PAGLIAI; S. PELLEGRINI AND N. VIGNOZZI: “Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy”, *Soil & Tillage Research* (61):143-155, 2001.
11. TARAWALLY, M. A; H. MEDINA; M. E. FRÓMETA AND C. A. ITZA: “Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba”, *Soil & Tillage Research* (76): 95-103, 2004.

Recibido: 22 /Mayo/2009

Aceptado: 16/Septiembre/2009