

# EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE POROS DE UN SUELO NO SATURADO A PARTIR DE ENSAYOS DE CONSOLIDACIÓN

## AUTORES:

Ms. C. Omar González Cueto<sup>1</sup>, Dr. Miguel Rodríguez Orozco<sup>1</sup>, Ms. C. Miguel Herrera Suárez<sup>1</sup>

## CENTRO:

<sup>1</sup> Departamento de Mecanización Agropecuaria. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Cuba

e-mail: [omar@uclv.edu.cu](mailto:omar@uclv.edu.cu)

## RESUMEN

El comportamiento mecánico de los suelos agrícolas está condicionado por diferentes variables como: la densidad aparente, contenido de humedad, porosidad, índice de poros, y otras. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del incremento de la presión sobre el suelo provocado por el tráfico de las máquinas agrícolas en las propiedades mecánicas del suelo, manifestado a través del índice de poros (relación de vacíos), para tres humedades y dos valores de densidad aparente, a partir de la simulación del proceso de compactación en laboratorio. Se realizaron ensayos de compresión uniaxial (oedometer) a muestras remoldeadas, sometidas a una secuencia de carga de: 25, 50, 100, 200 y 400 kPa, durante 0.5 h, y ensayos de propiedades físicas. Los resultados mostraron que la realización de trabajos mecanizados en humedades cercanas a la humedad crítica de compactación favorece el incremento de la compactación del suelo, debido a que disminuye la relación de vacíos y por lo tanto la porosidad es menor. El aumento del contenido de materia orgánica favorece el mantenimiento de mayores relaciones de vacío, caso contrario del contenido de arcilla. El incremento de la densidad aparente va aparejado con la disminución de la relación de vacíos.

**Palabras claves:** compactación, propiedades, compresión uniaxial, suelo, maquinaria agrícola

## INTRODUCCIÓN

Una de las principales dificultades que presenta el Ministerio de la Agroindustria Azucarera para el incremento de la producción de azúcar es el bajo rendimiento agrícola de sus plantaciones, y la compactación del suelo es uno de los principales responsables de este problema, además, esta provoca el incremento de los gastos energéticos durante el proceso de descompactación y preparación de los suelos, lo que repercute en los altos costos de producción. Otro aspecto

negativo que incide directamente en la compactación y degradación del suelo es la realización de labores agrícolas en humedades cercanas a las de la máxima compactación. Las tecnologías mecanizadas utilizadas en la producción de la caña de azúcar son altamente compactadoras del terreno, destacándose el equipamiento para la cosecha y transporte, donde este último ejerce presiones específicas sobre el suelo superiores a los 400 kPa (camión Kamaz 53212, remolque RC 10, remolque RC 02 y otros), y poseen un peso con carga superior a los 10 Mg (camión Kamaz 53212, remolque RC 10), (4).

La compactación es el proceso en que los granos del suelo son reorganizados, decrece el espacio poroso y se origina un contacto más cercano entre ellos, incrementándose la densidad aparente, (5). Esta se expresa a través de la disminución del índice de poros, el cual es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de los sólidos en la masa de suelo. La compactación excesiva reduce el crecimiento de las raíces de las plantas y baja la tasa de conductividad del agua y el aire a través del suelo. Debido a las restricciones al crecimiento de la raíz, la cantidad de agua y nutrientes al que puede acceder el cultivo disminuyen, lo que ocasiona una merma en el rendimiento agrícola de la plantación. Además el incremento de la densidad aparente afecta el drenaje interno, los campos permanecen más tiempo inundados y por lo tanto el tiempo disponible para los trabajos mecanizados se reduce o se realizan a humedades inadecuadas. El efecto de la compactación del suelo depende de la magnitud de los esfuerzos aplicados al suelo y de sus propiedades físicas y mecánicas, como son: densidad aparente, tasa de vacíos, porosidad, distribución de poros, tamaño de poros y otras, (10), (8), (2), (5).

Muchos estudios se han realizado simulando la compactación mediante pruebas de laboratorio, a partir de los ensayos Proctor, (6), (7), (1), o a través de ensayos de compresión uniaxial, (8), (9), (3), (11). Herrera y col, en el 2004, realizaron ensayos Proctor a un suelo Rhodic Ferralsol similar al utilizado en este trabajo y obtuvieron que la humedad crítica de compactación se encuentra alrededor del  $31,4 \text{ g kg}^{-1}$ , cuando la energía de compactación específica toma valores máximos  $202,8 \text{ kJ m}^{-3}$ . Energía que coincide con la máxima energía específica de compactación de las máquinas y vehículos agrícolas más pesados (cosechadoras KTP 2M, tractores de alta potencia, remolques cañeros RC 02 y RC 10)).

Los ensayos de compresión uniaxial o de consolidación se realizan con el objetivo de determinar la velocidad y grado de asentamiento que experimentará una muestra de suelo al someterla a una serie de incrementos de presión o carga, cuando esta se realiza en suelos sin saturar describen el proceso de compactación del suelo. El presente trabajo tiene el objetivo de determinar el efecto del incremento de la presión sobre el suelo provocado por el tráfico de las máquinas agrícolas en el índice de poros, para tres humedades y dos valores de densidad aparente, a partir de la simulación del proceso de compactación del suelo en un ensayo de consolidación, en un Rhodic Ferralsol.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Las investigaciones experimentales incluyeron la recolección de las muestras del suelo a investigar, a una profundidad de 300 mm, dividido en dos horizontes, uno de 0 a 150 mm (capa 1) y el segundo de 151 mm a 300 mm (capa 2). Se realizaron ensayos para la determinación de las propiedades físicas del suelo, según las normas cubanas vigentes. Se determinó el peso específico (Gs), el límite de contracción (LC), límite plástico, límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP), así como su composición granulométrica y contenido de materia orgánica (MO). El ensayo de consolidación se realizó en un edómetro con muestras de suelo remoldeadas a: 25, 35 y 40 g kg<sup>-1</sup> de humedad, cercanas a la humedad crítica de compactación determinada por (6), y con densidades aparentes de 1.25 y 1.1 g cm<sup>-3</sup>. La secuencia de cargas aplicadas a las muestras fueron de: 0.25, 0.50, 1, 2 y 4 kg cm<sup>-2</sup>. Las cargas se aplicaron durante 0.5 h. Se determinó el índice de poros.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las propiedades físicas del suelo (Tabla 1), muestran que el suelo es arcilloso limoso, con un contenido de arcilla y de materia orgánica máximo de 45 y 3.44 g kg<sup>-1</sup> respectivamente.

Tabla 1. Características físicas del suelo en estudio.

Profundidad de la capa mm		Gs g cm <sup>-3</sup>	Límites de consistencia g kg <sup>-1</sup>			Granulometría g kg <sup>-1</sup>			MO g kg <sup>-1</sup>
			LL	LP	IP	Arena	Limo	Arcilla	
Capa 1	0 - 150	2.66	31.2	61.5	30.3	23	46	31	3.44
Capa 2	151-300	2.72	30.3	60.7	30.4	16	40	45	2.58

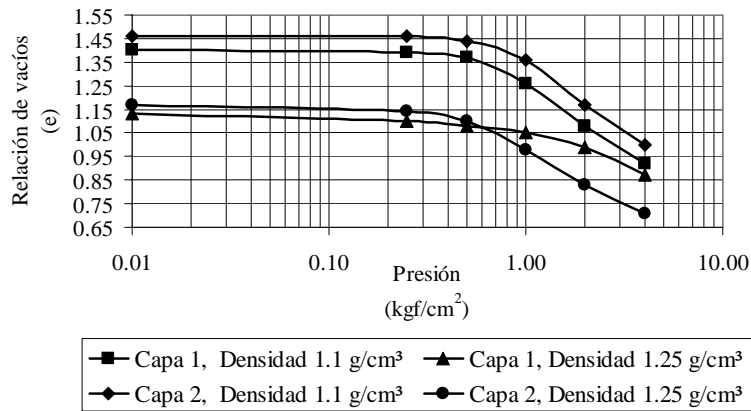


Fig 1. Variación del índice de poros con respecto a la presión aplicada

Como se aprecia en la Fig 1, las muestras con mayor densidad aparente tienen las relaciones de vacío menores. En los primeros tramos de la gráfica la relación de vacíos permanece casi constante, debido a que en esta zona se aplican las menores presiones específicas, las cuales provocan muy baja compactación, sin embargo cuando se incrementa la presión sobre el suelo por encima de  $1 \text{ kgf cm}^{-2}$  se aprecia una sensible disminución del índice de poros. Al evaluar los resultados de ambas capas, en los dos casos la capa 1 tiene mayores relaciones de vacío, es decir mayor porosidad, debido a que su contenido de materia orgánica es mayor y a que tiene un menor contenido de arcilla.

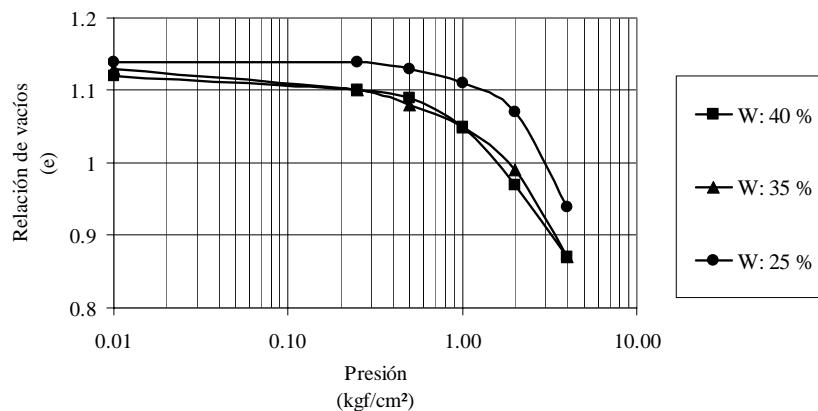


Fig. 2 Índice de poros respecto a la presión aplicada, en función de la humedad del suelo, densidad aparente de  $1.25 \text{ g cm}^{-3}$ , Capa 1.

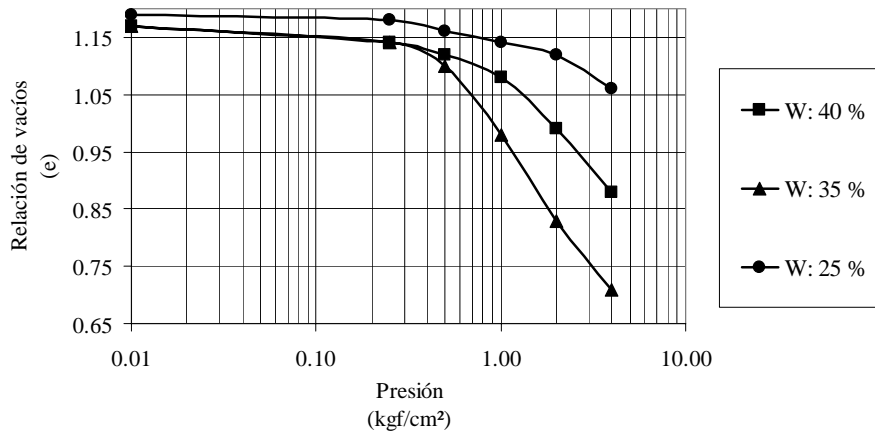


Fig. 3 Índice de poros respecto a la presión aplicada, en función de la humedad del suelo, densidad aparente de  $1.25 \text{ g cm}^{-3}$ , Capa 2

Al analizar la variación de las relaciones de vacío con respecto a la presión aplicada para las capas 1 y 2, y densidad aparente de  $1.25 \text{ g cm}^{-3}$ , en función de las tres humedades establecidas, Fig. 2 y 3, se aprecia que las más bajas relaciones de vacío se obtienen en el suelo con humedad de  $35 \text{ g kg}^{-1}$  y de  $40 \text{ g kg}^{-1}$  porque son las más cercanas a la humedad crítica de compactación obtenida del ensayo Proctor, (6). En la capa 2 se aprecia una mayor diferencia entre las relaciones de vacío para cada una de las humedades, mostrándose cómo la tasa de vacíos en  $35 \text{ g kg}^{-1}$  es inferior a la de  $40 \text{ g kg}^{-1}$  en  $0.17$ , debido a que a humedades mayores a la crítica el desplazamiento de un mayor contenido de agua disminuye el asentamiento de los estratos de suelo.

### CONCLUSIONES

La realización de trabajos mecanizados en humedades cercanas a la humedad crítica de compactación provoca el incremento de la compactación del suelo, debido a que disminuye el índice de poros y por lo tanto la porosidad es menor. El aumento del contenido de materia orgánica favorece el mantenimiento de mayores relaciones de vacío, caso contrario del contenido de arcilla. El incremento de la densidad aparente va aparejado con la disminución de la relación de vacíos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aragon, A., M. G. García., R. R. Filgueira., Y. A. Pachepsky. 2000, Maximum compactibility of Argentine soils from the Proctor test; the relationship with organic carbon and water content. *Soil & Tillage Research* 56 (2000) 197±204
2. Defossez, P., G. Richard. 2002 Models of soil compaction due to traffic and their evaluation, *Soil Tillage Res.* 67 (2002), pp. 41–64
3. Etana, A., R. A. Comia., I. Hakansson.1997. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. *Soil & Tillage Research* 44 (1997) 13-21
4. González, O., M. Herrera., M. Rodríguez. 2005. Evaluación de la compactación del suelo ocasionada por el tráfico del equipamiento de cosecha y transporte. Memorias en CD, Evento Entorno Agrario 2005, Sancti Spíritus.
5. Hamza. M. A., W. K. Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research* 82 (2005) 121-145
6. Herrera, M., C. Iglesias., González, O., Rodríguez, M., Madruga, R. 2004. Determinación de la humedad crítica de compactación de los suelos ferralíticos rojos compactados. Memorias en CD, Evento Agring 2004, La Habana.
7. Nhantumbo, A., A. H. Cambule, 2006. Bulk density by Proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique, *Soil & Tillage Research* 87 (2006) 231–239.
8. Sánchez Girón, V, E. Andreu., J. L. Hernanz. 1998. Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression tests
9. Sánchez Girón, V, E. Andreu., J.L. Hernanz. 2001. Stress relaxation of five different soil samples when uniaxially compacted at different water contents. *Soil & Tillage Research* 62 (1991) 85-99
10. Sánchez Girón, V., 1996. *Dinámica y Mecánica de Suelos*, Ediciones Agroténicas, Madrid. pp. 324
11. Smith, C. W., M. A. Johnston., S. Lorentz., 1997, Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. *Soil & Tillage Research* 41(1997) 53-73