

Compactación potencial en dos suelos de la parte plana del Valle del Cauca

Potential compaction in two soils of the flat portion of Valle del Cauca

Edgar Madero-Morales^{1*}, María Elvira Peña-Artunduaga^{2†}, Betsy Yadira Escobar^{2‡}, y Luis Fernando García^{2**}

¹Profesor Asociado Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. ²Estudiantes Ingeniería Agrícola, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

*Autor para correspondencia: eemaderom@unal.edu.co; †maripena@univalle.edu.co; ‡betsyyadira@gmail.com; **luisfega2@hotmail.com

Rec.: 08.04.11 Acept.: 28.02.12

Resumen

Muestras de los primeros 20 cm de la superficie de dos suelos en CIAT-Palmira (Calciustol y Haplustol, vérticos mezclados francos isohipertérmicos con pendiente 0.5%), utilizados en coberturas tanto de bosque secundario como de cultivos diversos por más de cincuenta años consecutivos, fueron compactados en el aparato de Richards bajo dos condiciones de humedad (0.1 y 0.5 bar) para comparar el punto de máxima compactación, y su influencia en la variación de la densidad aparente, la tasa de difusión de oxígeno, la porosidad de aireación, la conductividad hidráulica saturada y el módulo de ruptura. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (dos suelos, por dos usos, por dos humedades) con tres repeticiones. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Duncan ($P < 0.05$). El estudio concluye que los altos contenidos de M.O. no siempre evitan la degradación del suelo por efecto del tráfico de maquinaria en contenidos de humedad altos; independientemente del uso, el Calciustol más limoso tuvo ligeramente mayor potencial a la compactación que el Haplustol; y el cultivo continuado de los dos suelos los ha hecho más susceptibles al daño físico, ya que en estado muy húmedo, se compactaron al extremo y mostraron el deterioro físico que en la práctica puede acarrear el tráfico de maquinaria sobre el suelo, y en estado húmedo se compactaron moderadamente.

Palabras clave: Compactación potencial, compactador de Richards, manejo del suelo.

Abstract

Samples from the top 20 cm of two soils in CIAT Palmira (Calciustoll and Haplustoll both vertic mixed loamy isohipertermic 0.5% slope) used in both secondary forest cover and diverse crops for more than fifty consecutive years were compacted into the apparatus of Richards at two soil moisture contents (0.1 and 0.5 bar) to compare the point of maximum soil compaction and its influence in the soil bulk density changes, rate of oxygen diffusion, aeration porosity, saturated hydraulic conductivity and rupture modulus. A complete randomized design with factorial arrangement was used which consisted of 2 soils x 2 uses x 2 soil moisture content x 3 repetitions and means separated by Duncan probe. The study showed that high soil content of O.M. do not always prevent soil degradation due to of agricultural machinery traffic at high soil moisture contents. Irrespective of soil use, siltier Calciustoll had a slightly more potential to compaction than Haplustol, and continued cultivation of the two soils has made them more susceptible to physical damage, because in wet condition compacted to the extreme and showing physical degradation which in practice may result from traffic on soils, and in moist state, compacted moderately.

Key words: Potential soil compaction, Richards's compactor, soil management.

Introducción

El valle geográfico del río Cauca tiene una extensión total aproximada de 400 000 ha; de ellas la mitad se dedican a la producción de caña de azúcar y otros cultivos (Cenicaña, 2001). El suelo es un recurso básico y como tal debe ser preservado para el sostenimiento y la producción de fibras para una población cada día más creciente. En los suelos cultivados con caña de azúcar en el Valle del Cauca se presenta un alto tráfico de maquinaria para cosecha, frecuentemente en condiciones de altos contenidos de humedad debido a las siembras escalonadas y a la variabilidad del clima (Amézquita *et al.*, 2000). Esta situación acompañada del uso del sistema de preparación del suelo por fanguero para el cultivo de arroz donde se ha cultivado, ha contribuido a aumentar en forma localizada la formación de capas compactadas y el sellamiento y encostramiento superficiales de los suelos, condiciones que pueden llevar a una baja infiltración de agua en el perfil y a generar problemas de erosión que no permiten a los cultivos expresar su potencial genético, afectando la productividad (Amézquita, 1994; Amézquita *et al.*, 2002). La labranza para siembra incorpora partes del suelo superficial con otras más profundas y menos alteradas, y el posible daño físico puede quedar oculto en los primeros años.

Dentro de la terminología relacionada, la compactación del suelo corresponde a la pérdida irreversible de volumen y elasticidad que experimenta una determinada masa de suelo, debido a fuerzas externas que actúan sobre él en rangos de humedad cercanos al límite plástico. En la actividad agrícola, estas fuerzas tienen su origen principalmente en aspectos relacionados con implementos de labranza, las cargas producidas por el peso y la operación de los neumáticos de tractores y al pisoteo de animales (Amézquita, 1994). Según Pla (1995), algunas propiedades del suelo que pueden ser adecuados indicadores de compactación son: (i) la densidad aparente (DA) que es útil para estimar la reducción del espacio poroso

responsable del drenaje y de la retención de humedad fácilmente disponible. En texturas finas los niveles de compactación $>1.3 \text{ g/cm}^3$ son considerados críticos; en texturas medias son críticos los niveles $> 1.4 \text{ g/cm}^3$; y en gruesas los niveles $>1.6 \text{ g/cm}^3$; (ii) la porosidad de aireación (PA) que representa los poros de radio equivalente >15 micras, los cuales pierden agua cuando el suelo es sometido a una succión de 100 cm de columna de agua. El nivel crítico es $<6-8\%$; (iii) el módulo de ruptura (MR) que es una medida de la consistencia del suelo en seco a 50°C , y expresa la fuerza de cohesión entre las partículas cuando el suelo se seca. El nivel crítico se encuentra en valores $>3.2 \text{ kg/cm}^2$. (iv) La tasa de difusión de oxígeno (TDO) que expresa el movimiento de O_2 por gradiente de concentración en medio saturado y va desde el suelo sin compactar al suelo compactado. El nivel crítico es de $0.5 \mu\text{g/cm}^2$ por minuto. (v) La conductividad hidráulica saturada (Kh) que expresa la velocidad con la cual el agua pasa a través de la masa de suelo por unidad de gradiente de carga hidráulica. Los niveles críticos ocurren a valores $<5 \text{ mm/h}$ para agricultura de secano y 2 mm/h para agricultura bajo riego (Pla, 1995).

El presente estudio tuvo como propósito comparar, en condiciones controladas, la compactación superficial que se genera en dos molisoles tras decenas de años bajo cobertura de cultivo y de bosque, luego de simular un tráfico de maquinaria intenso 24 y 48 h después del drenaje desde saturación (Pla, 1977, 1995; Proctor, 1933).

Materiales y métodos

El estudio se cumplió en dos suelos: un Calciustol y un Haplustol¹ vérticos mezclados francosos isohipertérmicos con pendiente 0.5% (Garavito, 1976) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado a $3^\circ 30' \text{ N}$ y $76^\circ 21' \text{ O}$ en Palmira - Colombia, los cuales han mantenido por más de 50 años consecutivos coberturas de bosque secundario (B) y cultivos diversos² (C). Las muestras inalteradas fueron recolectadas en cilindros

1 Calciustol-Suelo 1, Haplustol-Suelo 2

2 En caña de azúcar han estado los últimos diez años

de 5x5 cm entre 0 y 20 cm de profundidad y compactadas en el aparato de Richards (Richards, 1954, 1965) bajo dos condiciones de humedad (0.1 y 0.5 bar). Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 suelos x 2 coberturas x 2 humedades x 3 repeticiones, y se estudiaron las variaciones de la densidad aparente, la tasa de difusión de oxígeno, la porosidad de aireación, la conductividad hidráulica saturada y el módulo de ruptura.

Resultados y discusión

Propiedades físicas iniciales

Los suelos poseen texturas medias muy similares, pero en C1 hay más limo y en B2 más arena; la materia orgánica estaba media a alta en cultivo y muy alta en bosque, y en C2 y B2 fue menor (Cuadro 1).

Las propiedades físicas iniciaron dentro de los rangos críticos adecuados Pla (1995); sin embargo, en bosque la condición fue inmejorable para DA, Kh, y MR, y sin diferencias entre suelos, lo cual está de acuerdo con los niveles de M.O, mientras que en cultivo en C1 la Kh fue

baja y el MR alto, debido quizás a los contenidos de limo más altos (Wischmeier y Smith, 1978).

Compactación potencial

Independientemente del uso, después de la compactación en ambos suelos se halló muy degradado significativamente el MR con valores muy por encima del nivel crítico, advirtiendo de la dureza de la costra y la capa compactada, como un signo probable de dispersión arcillosa (Madero y Herrera, 2004) (Cuadro 2). La Kh del Calciustol resultó significativamente inferior, y estuvo acompañada de una densidad baja, situación que se da al alcanzar el umbral crítico de humedad por encima del cual se comienza a amasar el suelo y las películas de agua dentro de él hacen un efecto amortiguador ante los esfuerzos mecánicos que impiden incrementos posteriores de la densidad (Proctor, 1933).

En cuanto a los usos, solo con cultivo ocurrió degradación y se manifestó en casi todas las variables evaluadas, producto del impacto de la agricultura, como lo han reportado Amézquita *et al.*, 2002; Pla, 1995; y Quirk, 1994 (Cuadro 3).

Cuadro 1. Algunas propiedades físicas iniciales de los suelos en cultivo (C) y Bosque (B).

Suelo	DA (g/cm ³)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm ²)	M. O. (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
C1	1.24a*	0.90b	2.9a	5.1b	15.0c	73.3a	11.7b	FL
C2	1.20a	18.1a	1.9a	3.2b	33.1b	60.7b	6.3b	FL
B1	1.01b	15.1a	1.1b	8.0a	25.7b	55.2b	19.1a	FL
B2	1.11b	14.5a	0.9b	6.8a	40.2a	40.0c	19.8a	F

* Promedios en una misma columna con letras iguales no son significativamente diferentes (P≤0.05).

DA: densidad aparente, Kh: conductividad hidráulica saturada, MR: módulo de ruptura, M.O.: materia orgánica.

Cuadro 2. Efecto de la compactación simulada sobre propiedades físicas en los suelos estudiados.

Suelo y vegetación	DA (g/cm ³)	PA (%)	TDO (μgr/cm ² por min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm ²)
Suelo 1 (Calciustol)	1.19b*	15.2a	1.67a	3.931b	5.72a
Suelo 2 (Haplustol)	1.24a	15.9a	1.87a	10.48a	4.98a

* Promedios en una misma columna con letras iguales no son significativamente diferentes (P≤0.05).

DA: densidad aparente, PA: porosidad de aireación, TDO: tasa de difusión de oxígeno, Kh: conductividad hidráulica saturada, MR: módulo de ruptura.

Cuadro 3. Efecto de la compactación simulada sobre cinco propiedades físicas del suelo en función del uso.

Muestra	DA(g/cm ³)	PA (%)	TDO (μgr/cm ² .min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm ²)
Bosque-B	1.12b	23.32a	2.57a	11.55a	2.28b
Cultivo-C	1.31a	7.79b	0.95b	2.86b	8.42a

* Promedios en una misma columna con letras iguales no son significativamente diferentes (P≤0.05)

DA: densidad aparente, PA: porosidad de aireación, TDO: tasa de difusión de oxígeno, Kh: conductividad hidráulica saturada, MR: módulo de ruptura.

La interacción suelo x uso x humedad, mostró que la compactación a 0.5 bar de humedad afectó negativamente todas las variables ($p \leq 0.05$) del Suelo 1 (Calciustol) tanto con bosque como con cultivo, quizás por los mayores contenidos de limo encontrados, los cuales le pueden restar elasticidad al suelo; sin embargo, únicamente el MR sobrepasó los niveles críticos, y lo hizo en los dos suelos bajo agricultura con 8 y 10 kg/cm², delatando la firmeza a la que se puede llegar por tráfico de maquinaria en condiciones húmedas. Bajo Bosque los suelos fueron menos sensibles a la compactación, y también se afectó más el Suelo 1 (Cuadro 4).

La acción mecánica a mayor humedad (0.1 bar), produjo en los suelos cultivados deterioro significativo prácticamente en todas las características evaluadas, hasta el punto que su espacio poroso con radio >15µm se redujo significativamente a menos del 5% del volumen, como un indicativo de la tendencia de estos suelos a degradarse en condiciones muy húmedas, lo cual a veces es imposible de evitar con agricultura de secano (Pla, 1977). La influencia relativa de la compactación a 0.1 bar se reflejó también en los valores de la conductividad hidráulica bajo cultivo, con Kh <1 mm/h, valores que pueden ser muy limitantes aún con agricultura de riego (Pla, 1995, Amézquita *et al.*, 2002; Quirk, 1994) (Cuadro 4).

Con cobertura de bosque, los suelos mantuvieron un espacio poroso con radio >15µm por encima de 20%; la tasa de difusión de oxígeno a 0.1 bar de succión fue muy superior a 0.5 µgr/cm² por min, y en general mantuvieron su naturaleza física (Cuadro 4).

Conclusiones

- El estudio concluye que los altos contenidos de M.O. no siempre evitan la degradación del suelo por efecto del tráfico en contenidos altos de humedad.
- Independientemente del uso, el Calciustol más limoso tuvo ligeramente mayor potencial a la compactación que el Haplustol.
- El cultivo continuado de los dos suelos los ha hecho más susceptibles al daño físico; en estado muy húmedo se compactaron al extremo, mostrando el deterioro físico que en la práctica puede acarrear el tráfico sobre los suelos, y en estado húmedo, se compactaron moderadamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Colombia por patrocinar esta investigación a través del Grupo Indicadores Sencillos de Degradación de Suelos, y al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) por facilitar la toma de muestras de los suelos. Igualmente a los ingenieros Andrés

Cuadro 4. Efecto de la compactación simulada sobre propiedades físicas en función del uso del suelo.

Uso ^a	Succión (bares)	DA (g/cm ³)	PA (%)	TDO (µgr/cm ² por min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm ²)
C1	0.5	1.25c*	9.87d	0.92a	6.08c	8.29a
C1	0.1	1.35b	4.93e	0.91a	0.13e	8.42a
C2	0.5	1.20d	11.79c	1.02a	10.83b	10.12a
C2	0.1	1.43a	4.57f	0.97a	0.02e	8.88a
B1	0.5	1.06e	20.28b	2.92a	11.58a	3.04b
B1	0.1	1.08e	25.72a	2.78a	3.52d	3.14b
B2	0.5	1.16e	22.11c	3.28a	13.34b	1.63c
B2	0.1	1.16e	25.17b	3.17a	17.73a	1.32c

a. C = Cultivo. B = bosque. 1 = Calciustol 2 = Haplustol

* Promedios en una misma columna con letras iguales no son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$).

DA: densidad aparente, PA: porosidad de aireación, TDO: tasa de difusión de oxígeno, Kh: conductividad hidráulica saturada, MR: módulo de ruptura.

Mauricio Bravo y Sandro Nolán Ipaz por su colaboración, amistad y apoyo académico.

Referencias

- Amézquita, E. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Silva, F(ed.). Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de Ciencias del Suelo. Santa Fé de Bogotá, Colombia. p.137-154.
- Amézquita, E., Ruiz, H.; Legarda, B.; Peña, J. 2000. "Efecto de cuatro sistemas de labranza sobre las condiciones físicas de un suelo Vertisol degradado". En: Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas ISSN: 0 ed: v.27 fasc.1 p.282 – 293.
- Amézquita, E.; Madero, E.; Jaramillo, R.; y Viveros, R. 2002. Impacto físico de la intervención agrícola sobre un Vertisol del Valle del Cauca Colombia, Boletín de Suelos. ISSN: 1020-0657.
- Cenicaña. 2001. Cifras del sector azucarero colombiano, primer trimestre de 2001. En: Carrillo, V. (ed.). Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). Carta Trimestral, primer trimestre de 2001.
- Garavito, F. 1976. Propiedades del suelo en relación con deficiencias de B en el Valle del Cauca. Tesis MSc. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 86p.
- Guerrero, M. 2003. Análisis estadístico de series de tiempo econométricas. Thomsom, segunda edición. México.
- Madero, E.; Herrera, O. 2004. Compactación y Cementación de Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. [Citado 12 abril, 2004]. Disponible en: [ftp://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira\(2057\)index.html](ftp://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira(2057)index.html).
- Pla, I. 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales: curso de posgrado en ciencia del suelo. Maracay. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Comisión de Estudios para Graduados, 92p.
- Pla, I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación con la labranza. En: Pla, I. y Ovalles, F. (eds.) Efecto de los sistemas de labranza en la degradación productividad de los suelos. Memorias II Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista. Fonaiap. Serie Especial No. 32. Maracay, Venezuela. P. 42-51.
- Proctor, R.R. 1933. Fundamental principles of soil compaction. Reprinted from Engineering News-Record, copyright The McGraw-Hill Companies, Nueva York. P.245-248.
- Quirk, J. P. 1994. Interparticle forces: A basis for the interpretation of soil physical behaviour. Adv. Agron. 53:121-182.
- Richards, L.A. (ed.). 1954. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Traducción de N. Sánchez Durón *et al.* Manual de Agricultura No. 60. U.S. Department of Agriculture. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México.
- Richards, L.A. 1965. A soil compactor and procedure used for preparing soil cores for measuring physical properties. SoilSci.Soc. Proc. 29:637-639.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA-SEA, US. Printing Office, Washington, DC. 58p.