

# Compactación potencial en dos suelos de la parte plana del Valle del Cauca. Parte II

## Compaction in two soils of the flat portion of Valle del Cauca. Part II: Potential compaction

Edgar Madero Morales<sup>1\*</sup>, María Elvira Peña Artunduaga<sup>2†</sup>, Betsy Yadira Escobar<sup>2‡</sup>, y Luis Fernando García<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>-Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

<sup>2</sup> Estudiantes de 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.: 26.11.11

### Resumen

Muestras de los primeros 20 cm de la superficie de dos suelos (Calciustol y Haplustol, los dos vérticos mezclados francosos isohipertérmicos con pendiente 0.5%, en diferentes cultivos en el CIAT-Palmira, fueron compactados en el aparato de Richards en dos condiciones de humedad (0.1 bar y 0.5 bar) para medir el punto de máxima compactación, estimado a través de 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 incluyeron dos testigos bajo cobertura de bosque natural en los mismos suelos y se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2 suelos x 2 usos x 2 humedades) con tres repeticiones. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ( $P < 0.05$ ). Los suelos cultivados fueron potencialmente más susceptibles a la compactación que los de bosque, a pesar de que los primeros presentaban un contenido promedio de 4% de M.O. En condiciones de alta humedad (0.1 bar) los suelos cultivados presentaron igualmente mayor potencial de compactación. Calciustol resultó con mayor potencial a la compactación, independientemente del uso. El estudio sugiere que los altos contenidos de M.O no siempre evitan la degradación por tráfico de maquinaria en condiciones de alto contenido de humedad.

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

### Abstract

Samples from the top 20 cm of two soils (Calciustoll and Haplustoll both vertic mixed loamy isohipertermic 0.5% slope) cultivated in different crops, were compacted into the apparatus of Richards at two soil moisture content (0.1 and 0.5 bar) to find the point of maximum soil compaction valued through changes in rate of oxygen diffusion, aeration porosity, saturated hydraulic conductivity and rupture modulus. The procedure included two natural forest covers as a control in the same soils and used a completely randomized design with factorial arrangement of 2 soils x 2 uses x 2 soil moisture content x 3 repetitions and means separated by Duncan probe. Under high soil moisture conditions (0.1 bar), cultivated soils exhibited great potential to compaction. Calciustoll had more potential for compaction regardless of the use. Under crop soils were potentially more susceptible to compaction than soil controls although the former had about 4% of organic matter (OM). The study warns about that high levels of soil O.M do not always prevent soil degradation due to traffic at high soil moisture contents.

**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, y aproximadamente la mitad se dedica 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 (Ruiz, 1999). Esta situación, acompañada del fanguero para el cultivo de arroz, ha contribuido a aumentar en forma localizada la formación de capas compactadas y al sellamiento y encostramiento superficiales, 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 con ello la productividad (Amézquita, 1994; Amézquita *et al.*, 2002). La labranza para siembra incorpora partes del suelo superficial con otras más profundas y menos alteradas, ocasionando así alteraciones que muchas veces no son perceptibles.

En 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 buenos indicadores de compactación son:

- 1) La densidad aparente (DA), 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  $> 1.6 \text{ g/cm}^3$ .
- 2) La porosidad de aireación, 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  $< 6 - 8\%$ .
- 3) El módulo de ruptura, una medida de la consistencia del suelo en seco a  $50^\circ\text{C}$ . Expresa la fuerza de cohesión entre las partículas cuando el suelo se seca. El nivel crítico se encuentra en valores  $> 3.2 \text{ kg/cm}^2$ .
- 4) La tasa de difusión de oxígeno, que expresa el movimiento de  $\text{O}_2$  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.
- 5) La conductividad hidráulica saturada, 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  $2 \text{ mm/h}$  para agricultura bajo riego.

Para el presente estudio se aplicó la metodología de trabajo sugerida por Pla (1995), la cual se basa en la teoría de Proctor (1933), con el propósito de encontrar el contenido de humedad al cual dos suelos de alta capacidad de uso se compactan en mayor grado cuando son sometidos a esfuerzos mecánicos entre dos humedades altas, mediante la medición de variaciones en estas cinco propiedades (Pla, 1977, 1995).

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado a  $3^\circ 30' \text{ N}$  y  $76^\circ 21' \text{ O}$ , Palmira, Colombia, cubiertos con bosque natural, y en cultivos. Las muestras de suelos fueron recolectadas entre 0 cm y 20 cm de profundidad en Calciustoll y Haplustoll, ambos vérticos mezclados francosos isohipertérmicos con pendiente 0.5% (Garavito, 1976) con diferentes clases de cultivos. Para el efecto se utilizaron cilindros de 5 cm x 5 cm, que se compactaron en el aparato de Richards (Richards, 1954, 1965) a dos contenidos de humedad (0.1 bar y 0.5 bar), que reflejan las condiciones promedio de máxima y mínima de humedad que alcanzaría el suelo hasta 20

cm de profundidad después de 24 h a 48 h de saturación y simulan el tráfico intenso en condiciones de alta humedad edáfica.

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 suelos x 2 sistemas de uso x 2 succiones, con tres repeticiones.

## Resultados y discusión

### Propiedades físicas

Los suelos presentaron propiedades físicas dentro de los rangos adecuados del nivel crítico. En bosque presentaron muy baja DA, conductividad hidráulica (Kh) media, y bajo módulo de ruptura (MR). El contenido de M.O. fue muy alto y superior al encontrado en los suelos cultivados (Cuadro 1). En ambos sitios (B1 y B2) los suelos presentaron condiciones físicas similares, excepto para textura, que fue más gruesa en B2. En los suelos cultivados las características DA, Kh y MR incrementaron y la M.O. disminuyó en comparación con suelos en bosque; no obstante, sus niveles fueron adecuados de acuerdo con los rangos considerados como niveles críticos, excepto la Kh en el suelo C1 donde fue muy

baja, debido posiblemente a la tendencia de este suelo a contener una mayor cantidad de Ca precipitado (capa cálcica) (Madero y Herrera, 2004; Quirk, 1994) y a los contenidos de limo más altos que explican un módulo de ruptura al límite superior (Wischmeier y Smith, 1978). Esta característica fue la única diferente entre C1 y C2 (Cuadro 1).

### Compactación potencial

Ambos suelos (en bosque y cultivados) presentaron propiedades físicas similares después de la compactación; no obstante, la DA y la Kh en el suelo 1 (cultivado) fueron menores ( $P < 0.05$ ). Aunque en suelos con bosque los valores fueron mejores, los altos MR encontrados pueden ser debidos a la presencia en estos suelos de cantidades importantes de arcillas esmectíticas, conocidas por proveer resiliencia, o resistencia, al cambio ante esfuerzos mecánicos, así como los elevados contenidos de M.O. en el suelo (Quirk, 1994) (Cuadro 2). Por otra parte, las menores condiciones en suelos cultivados está relacionada con la historia agrícola (Amézquita *et al.*, 2002; Pla, 1995; Quirk, 1994) (Cuadro 3).

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

Suelo	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Kh (mm/h)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	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 ( $P \leq 0.05$ ).

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

Suelo y vegetación	Da (g/cm <sup>3</sup> )	P.A (%)	TDO (μgr/cm <sup>2</sup> por min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )
Suelo 1 (cultivo)	1.19b*	15.2a	1.96a	3.931b	5.72a
Suelo 2 (bosque)	1.24a	15.9a	2.00a	10.48a	5.49a

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

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

Muestra	Da (g/cm <sup>3</sup> )	P.A (%)	TDO (μgr/cm <sup>2</sup> .min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )
Bosque-B	1.12b	23.32a	3.04a	11.55a	2.28b
Cultivo-C	1.31a	7.79b	1.12b	2.86b	8.93a

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

La interacción suelo x uso x humedad mostró que con la compactación a 0.5 bar de humedad los suelos cultivados se degradaron significativamente a diferencia de los de bosque natural, como lo confirma el MR, que fue > 3 kg/cm<sup>2</sup>; no obstante, las condiciones de humedad en el suelo hacen variar dicha resistencia. Es importante aclarar que en el Calciustol (B1) esta propiedad alcanzó el límite crítico (P ≤ 0.05) (Cuadro 4).

La compactación a mayor humedad (0.1 bar) produjo en los suelos cultivados un deterioro significativo de las características físicas evaluadas, hasta el punto de que su espacio poroso con radio > 15 µm se redujo significativamente a menos del 5% del volumen, cuando se compara con el valor encontrado a 0.5 bar, lo que es un indicativo de la tendencia de estos suelos a compactarse, especialmente si se manejan en condiciones de alta humedad, lo cual a veces es imposible de evitar con agricultura de secano (Pla, 1977). En el caso de los suelos testigos con cobertura de bosque los suelos mantuvieron un espacio

poroso con radio > 15 µm por encima de 20%, y la tasa de difusión de oxígeno a 0.1 bar de succión fue superior a 0.5 µgr/cm<sup>2</sup> por min., es decir, si suelos de esta naturaleza estuvieran disponibles para la agricultura casi no tendrían limitaciones para su manejo con mínimo laboreo (Cuadro 4).

La influencia relativa de la compactación a 0.1 bar se reflejó también en los valores de la conductividad hidráulica, los cuales no fueron tan limitantes en bosque ya que el menor valor (3.52 mm/h) se halló en el Calciustol (B1), pero si ocurrieron hubo limitaciones en cultivo (Kh < 1 mm/h), lo cual puede ser muy limitante, aun con agricultura de riego (Pla, 1995) (Cuadro 4). Los suelos bajo cobertura de bosque natural mostraron mejores propiedades físicas que suelos bajo cultivo, ya que en los primeros la densidad y la aireación son mejores; así se disminuye la precipitación de Ca y se aumenta la resiliencia del suelo (Amézquita *et al.*, 2002; Quirk, 1994) (Cuadro 4).

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

Uso <sup>a</sup>	Succión (bares)	Da (g/cm <sup>3</sup> )	P.A (%)	TDO (µgr/cm <sup>2</sup> por min)	Kh (mm/h)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )
C1	0.5	1.25c*	9.87d	2.47a	6.08c	8.29a
C1	0.1	1.35b	4.93e	2.36a	0.13e	8.42a
C2	0.5	1.20d	11.79c	2.78a	10.83b	8.10a
C2	0.1	1.43a	4.57f	2.69a	0.02e	8.88a
B1	0.5	1.06e	20.28b	0.92a	11.58a	3.04b
B1	0.1	1.08e	25.72a	0.91a	3.52d	3.14b
B2	0.5	1.16e	22.11c	1.02a	13.34b	1.63c
B2	0.1	1.16e	25.17b	0.97a	17.73a	1.32c

a. C = Cultivo. B = bosque.

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

## Conclusiones

- Independientemente del uso, el Calciustol resultó ligeramente con mayor potencial a la compactación.
- Los suelos bajo cultivo con historial agrícola diverso fueron más susceptibles al daño físico que los de bosque, lo cual demuestra que los manejos más conservacionistas son más acertados y sostenibles.
- La compactación inducida a la succión más baja aumentó el sellamiento y la formación de costra aun en bosque.
- En la compactación inducida a la succión más alta los suelos sufrieron un mayor daño, lo cual es reflejo del deterioro físico que en la práctica pueden presentar los suelos por tráfico en contenidos de humedad extremos.
- El estudio sugiere que los altos contenidos de M.O. no siempre evitan la degradación del suelo por efecto del tráfico cuando los contenidos de humedad son altos.

## 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 Andrés 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.; 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, 86 p.
- Guerrero, M. 2003. Análisis estadístico de series de tiempo econométricas. Thomson, 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, 92 p.
- Pla, I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a 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. Fonaia. 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. Soil Sci. Soc. Proc. 29:637 - 639.
- Ruiz, M. H. 1999. Efecto de cuatro sistemas de labranza en el mejoramiento de algunas propiedades físicas de un Vertisol cultivado intensivamente en el Valle geográfico del Río Cauca. p. 7 - 11. Tesis? Bol.? Revista?
- Wischemeier, W. H.; 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.