

Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en suelo compactado a varias intensidades bajo condiciones controladas

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) production in soil at different bulk densities under controlled conditions

Martínez-Rubin de Celis E¹, E Rivas-Robles², L Martínez-Corral³, J Frías-Ramírez¹, J Orozco-Vidal¹, M Fortis-Hernández¹, MA Segura Castruita¹

Resumen. La compactación o aumento de la densidad del suelo (Da) como resultado de las cargas aplicadas se expresa como un aumento de la densidad aparente y la resistencia del suelo a la penetración. Factores dominantes en la compactación del suelo por tránsito vehicular incluyen la cantidad de carga, el contenido de humedad del suelo y el número de pasadas sobre el terreno. La compactación ocasiona la formación de capas que limitan o demoran (1) el proceso de aireación; (2) la penetración radical e infiltración; (3) las capacidades de absorción y retención de agua; (4) el movimiento de nutrientes; (5) la transferencia de calor, y (6) la emergencia de plántulas. Al mismo tiempo, es responsable de (1) producir el desarrollo de plantas de menor altura y de hojas con coloraciones no características, y (2) aumentar la demanda energética para trabajar ese suelo. El propósito de esta investigación fue determinar el efecto de la compactación del suelo sobre las plantas de alfalfa y su producción en condiciones controladas. La deposición de suelo en contenedores permitió la obtención de los siguientes niveles de Da: 1,2 g/cm³; 1,35 g/cm³; 1,5 g/cm³ y 1,65 g/cm³. Se sembraron 550 semillas por m² de alfalfa variedad "El Camino". En planta se determinó emergencia, altura, número de hojas, diámetro de tallos y producción de biomasa. El incremento de Da no propició cambios significativos en la emergencia de plantas, pero redujo la altura (Ap) hasta un 40% con tendencia: $Ap=63,12-27,06*Da$. Conforme aumentó la Da, el número de hojas disminuyó hasta en un 50%, el diámetro de los tallos tendió a incrementarse y la producción de biomasa verde o seca se redujo en un 34% o 29,7%, respectivamente.

Palabras clave: Compactación; Producción de forraje; Desarrollo fenológico; *Medicago sativa*.

Abstract. Soil compaction or increase of soil bulk density (Da) as a result of applied loads is expressed as an increase in soil bulk density and soil resistance to penetration. Factors in soil compaction due to vehicular traffic include: the amount of load, soil moisture content and the number of passes over the land. Soil compaction results in the formation of layers that can limit or delay (1) the aeration process; (2) root penetration and infiltration; (3) absorption capacity and soil water retention; (4) nutrient movement; (5) heat transfer, and (6) seedling emergency. At the same time, it will produce plants of lower height, uncommon leaf color and an increasing energy demand to work that soil. The purpose of this investigation was to determine the effect of soil compaction on alfalfa plants and their production under controlled conditions. Soil deposition in containers allowed the following Da treatments: 1.2 g/cm³; 1.35 g/cm³; 1.5 g/cm³ and 1.65 g/cm³. Five hundred and fifty alfalfa seeds variety "El Camino" were sown per m². The study variables were: emergency percentage, plant height, number of leaves, stem diameter and crop yield. Soil bulk density increases did not significantly change plant emergency, but reduced plant height (Ap) up to 40% with trend: $Ap=63,12-27,06*Da$. As Da increased, the number of leaves decreased up to 50%, stem diameter tended to increase, and either green or dry yield production was reduced up to 34% or 29.7%, respectively.

Keywords: Soil compaction; Forage production; Phenological stages; *Medicago sativa*.

¹ Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico de Torreón. Carretera Torreón-San Pedro km 7,5 Ejido Anna. Torreón, Coahuila. México.

² Tesista de maestría del Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coah. México. Carretera Torreón-San Pedro km 7,5 Ejido Anna. Torreón, Coahuila. México.

³ Profesor-Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 sur Periférico Gómez-Lerdo km. 14.5, Lerdo, Dgo, México.

Address Correspondence to: Enrique Martínez-Rubin de Celis. Tel. 01(52)871725-09-49; e-mail: emartimx@yahoo.com.mx

Recibido / Received 21.IX.2010. Aceptado / Accepted 9.VI.2011.

INTRODUCCIÓN

La compactación es el aumento de la densidad del suelo como resultado de las cargas o presiones aplicadas. Su magnitud se expresa como un aumento de la densidad aparente (Da) y la resistencia del suelo a la penetración. Canillas y Vilas (2002) mencionaron que los factores dominantes en la compactación del suelo por tránsito vehicular son la cantidad de carga, el contenido de humedad del suelo y el número de pasadas de la llanta.

La susceptibilidad de un suelo a la compactación depende de la textura del mismo, ocasionando que la raíz presente mayor o menor grado de dificultad para penetrar en él. Valores de densidad cercanos a 1,4 g/cm³ en suelos arcillosos y de 1,7 g/cm³ en suelos arenosos, limitan el crecimiento radicular en las plantas. La compactación del suelo es perjudicial cuando ocurre en los primeros 76 cm de la superficie del suelo, donde se realiza el mayor crecimiento radicular (Tirado-Corbalá, 2005).

La producción intensiva con labranza convencional de pasturas perennes produce con el tiempo capas compactas de suelo (Smith et al., 2005) que limitan o demoran (1) el proceso de aireación; (2) la penetración radical e infiltración; (3) la capacidad de absorción y retención de agua; (4) el movimiento de nutrientes; (5) la transferencia de calor, y (6) la emergencia de plántulas (Patterson et al., 1980; Handreck y Black, 2002). Al mismo tiempo, las capas compactas de suelo producirán el desarrollo de plantas de menor altura, hojas con coloraciones no características, y un aumento en la demanda energética para trabajar ese suelo. Un ejemplo donde se produce compactación de suelo es la Comarca Lagunera, una de las principales cuencas lecheras del país con más de 500000 cabezas de ganado bovino y una producción de casi seis millones de litros de leche diarios (Salazar et al., 2007). Esta situación demanda elevados volúmenes de forraje para la alimentación del ganado doméstico.

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es considerada la principal especie forrajera del mundo (Villegas et al., 2004; Cortes y Gallardo, 2005). Esta especie de leguminosa es la más ampliamente utilizada en la alimentación del ganado por su contenido proteico, y ocupa una superficie de más de 386406 hectáreas sembradas a nivel nacional (México). De este total de hectáreas, 39714 corresponden a la Comarca Lagunera, las que son deficientes desde el punto de vista económico a partir del tercer año de cultivo. Esto es debido al escaso desarrollo de las plantas, reducción de la densidad de población, incrementos en los costos de producción, problemas con plagas y bajos rendimientos. Este es en parte el resultado del incremento en la compactación del suelo ocasionado parcialmente por las altas cargas animales y el uso continuado de maquinaria agrícola. El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la compactación del suelo sobre la fenología y la producción de forraje de la alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Comarca Lagunera (102° - 104° 40' O; 24° 30' - 27° N) bajo condiciones controladas, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Torreón durante el ciclo invierno 2008 - verano 2009.

El experimento se estableció dentro del invernadero en un suelo de textura migajón arcillosa correspondiente a la unidad Calcisol háplico de acuerdo con la WRB (IUSS-IRIC-FAO, 2006). Este suelo se ubica regionalmente dentro de la serie coyote, la cual predomina en la Región con una densidad aparente de 1,2 g/cm³; estructura granular; contenido de materia orgánica de 1,12% y conductividad eléctrica (CE) de 1,4 dS/m y pH de 7,7. El suelo se colocó en contenedores de 20 cm de diámetro por 23 cm de altura, en los que se establecieron los tratamientos de Da de 1,2 g/cm³ (T1); 1,35 g/cm³ (T2); 1,5 g/cm³ (T3), y 1,65 g/cm³ (T4). Estos tratamientos se distribuyeron completamente al azar con cinco repeticiones. La compactación se realizó en capas. Semillas de alfalfa de la variedad "El Camino" fueron sembradas a 1 cm de profundidad a una densidad de 550 plantas por m² (ajustada al área de los contenedores) y distribuidas uniformemente mediante plantilla.

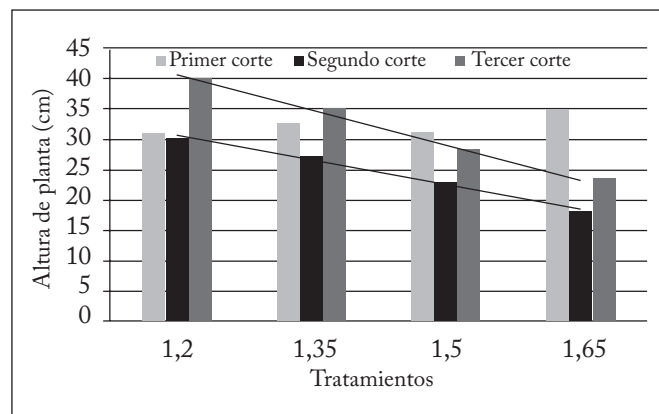
La fertilización se realizó aplicando MAP 11-52-00 al suelo. El riego se determinó por lisimetría manteniendo la humedad entre capacidad de campo y el 25% de humedad aprovechable. Para la evaluación del comportamiento del cultivo se monitoreó el desarrollo de las plantas determinando: (1) la emergencia de plantas; (2) altura de planta (Ap); (3) diámetro de tallos inferiores (Dti), medios (Dtm), y superiores (Dts), y (4) número de hojas (Nh) antes de cada corte. El corte se realizó al 10% de floración y se determinó la producción de forraje en verde y seco. Los datos se analizaron con el paquete estadístico Olivares (1994), aplicando el método de comparación de medias de "Duncan" al 5%.

RESULTADOS

El incremento de la Da del suelo no registró cambios estadísticamente significativos para la emergencia de plantas; no obstante, los tratamientos de 1,5 y 1,65 g/cm³ registraron una disminución del 12,84% y 15,59% respectivamente, en dicha emergencia. Smith et al. (2005) indicaron haber encontrado diferencias estadísticas en la emergencia de plantas por efecto de la compactación. Para la altura de planta se tuvo efectos altamente significativos, registrando los tratamientos de 1,5 g/cm³ ó de 1,65 g/cm³ una reducción del 24% ó 40% en la altura promedio de las plantas (Fig. 1). Estos resultados concuerdan con lo reportado por López-Martínez et al. (2000). Al inicio y hasta antes del primer corte no se registraron diferencias estadísticas en la altura de las plantas. A partir del segundo corte, la reducción en la altura de las plantas con los incrementos en Da estuvo representada por la siguiente ecuación:

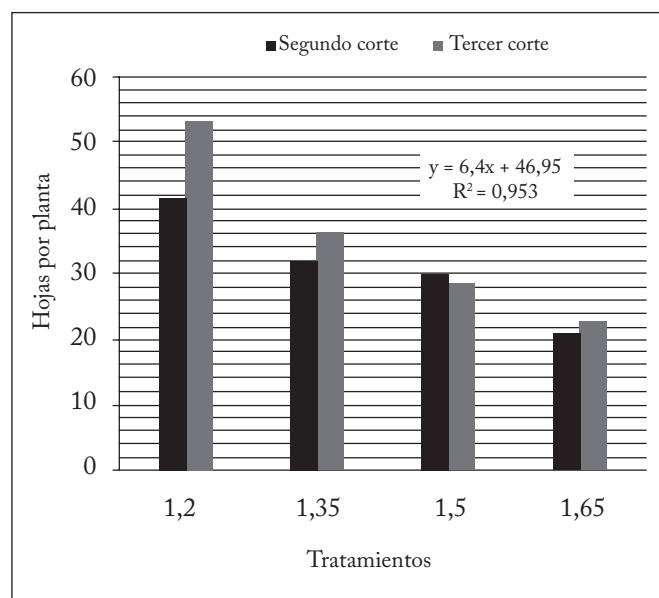
$$Ap = 63,12 - 27,06 Da$$

Fig. 1. Altura promedio de planta por tratamiento y su tendencia.
Fig. 1. Average plant height per treatment and its trend.



Independientemente del tratamiento de corte, el número de hojas por planta se redujo al incrementarse la Da (Fig. 2).

Fig. 2. Número de hojas promedio por planta en cada tratamiento.
Fig. 2. Average leaf number per plant in each treatment.



Por el contrario, el diámetro de los tallos inferiores, medios y superiores tendió a incrementarse conforme aumentó la densidad aparente del suelo (Tabla 1).

En todos los casos, el aumento en la densidad aparente del suelo originó un aumento del diámetro del tallo en sus tres niveles, con valores más altos en los últimos cortes reportándose incrementos de 0,292 mm para el Dti, 0,302 mm para el Dtm y 0,308 mm Dts en relación al primer tratamiento.

La producción de forraje verde se redujo al incrementarse la Da y la frecuencia de cortes. En la Fig. 3 se puede observar cómo para el primer corte se obtuvo menos del 19% de forraje en el tratamiento de 1,5 g/cm³, y hasta un 23,5% menos

Tabla 1. Comparación de los diámetros de tallo (mm) por cosecha.
Table 1. Comparison of stem diameters (mm) by harvest.

Da (g/cm ³)	Inferior			Medio			Superior		
	Cos 1	Cos 2	Cos 3	Cos 1	Cos 2	Cos 3	Cos 1	Cos 2	Cos 3
1,20	1,82 a	1,73a	1,29 a	1,63 a	1,63 a	1,2 a	1,31 a	1,26 a	0,61 a
1,35	1,92 a	1,84 ab	1,73 b	1,69 a	1,74 ab	1,43 a	1,24 a	1,40 ab	1,09 b
1,50	1,96 a	1,93 b	1,84 b	1,65 a	1,82 bc	1,75 b	1,24 a	1,5 bc	1,42 c
1,65	1,83 a	2,02 b	1,93 b	1,6 a	1,93 c	1,81 b	1,25 a	1,57 c	1,59 c

* Valores seguidos de letra igual no difieren estadísticamente ("Duncan" al 5%).
* Values followed by the same letter do not differ statistically ("Duncan" at 5%).

en el tratamiento de 1,65 g/cm³. Para la segunda y la tercer cosecha la producción se redujo significativamente en todos los tratamientos, registrándose hasta un 34,4% menos forraje verde en los tratamientos de 1,65 g/cm³. Estos resultados concuerdan con los informados por López-Martínez et al. (2000) en alfalfa.

Fig. 3. Producción de forraje verde por tratamiento en cada corte.
Fig. 3. Green forage production per treatment within each clipping.

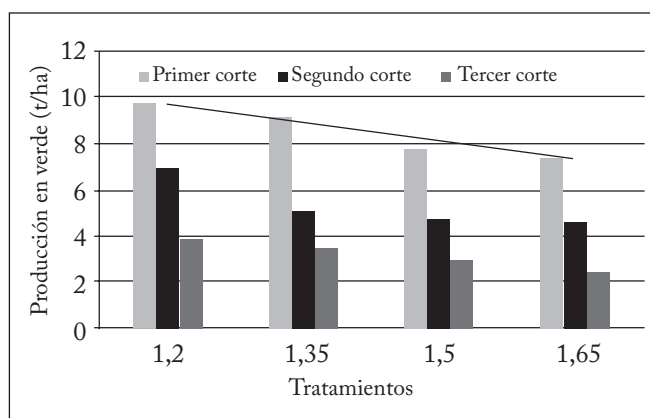


Tabla 2. Producción de materia seca (t/ha) por tratamiento en cada corte en las diferentes Da.
Table 2. Dry matter production (t/ha) per cutting treatment at the various Da.

Table 2. Dry matter production (t/ha) per cutting treatment at the various Da.

Da	Corte 1	Corte 2*	Corte 3*
1,20 g/cm ³	9,14 a	9,36 a	7,12 a
1,35 g/cm ³	10,4 a	8,14 ab	6,34 a
1,50 g/cm ³	9,76 a	7,56 b	6,04 ab
1,65 g/cm ³	9,92 a	6,58 b	4,86 b

* Valores seguidos de letra igual no difieren estadísticamente ("Duncan" al 5%).

* Values followed by the same letter do not differ statistically ("Duncan" at 5%).

La producción de biomasa del primer corte presentó muy poca variación por efecto del aumento en la densidad aparente del suelo (Tabla 2). Como resultado del segundo corte se registró una disminución en la producción de biomasa del 13% para el tratamiento de 1,35 g/cm³; del 19% para el de 1,5 g/cm³, y del 29,7% en el tratamiento de 1,65 g/cm³. En el tercer corte, se mantuvo la tendencia en la reducción de la producción de biomasa a medida que aumentó la Da (Tabla 2).

CONCLUSIÓN

La disminución de espacios porosos (macro poros) ocasionada por el incremento en la densidad aparente del suelo tuvo efectos negativos en el desarrollo fenológico del cultivo de la alfalfa al propiciar la abscisión foliar, la reducción de altura en plantas y el incremento en el diámetro de los tallos, reduciendo la producción de forraje verde y de materia seca en más de un 30%.

REFERENCIAS

- Canillas, E.C. y M.S. Vilas (2002). A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil and Tillage Research* 65: 221-230.
- Cortes, S.A. y Y.N. Gallardo (2005). Obtención de concentrados proteicos a partir de alfalfa (*Medicago sativa*). *Revista Salud Pública y Nutrición RESPYN*, VII Congreso Nacional de Ciencias de los alimentos. Edición Especial No. 13-2005. pp. 254-263.
- Handreck, K. y N.D. Black (2002). Growing media for ornamental plants and turf. Kensington, N. S. W., New South Wales University Press. VIII. 518 p.
- IUSS, ISRIC & FAO (2006). World base reference for soil resources. Report on World Soil Resources. FAO. Rome, Italy.
- López-Martínez, J.D., G. Gutiérrez-Puente y S. Berúmen-Padilla (2000). Labranza de conservación usando coberturas de abono orgánico en alfalfa. *Rev. TERRA* 18: 161-171.
- Olivares, S.E. (1994). Paquete de diseños experimentales FAUNAL Ver-2.5 Facultad de Agronomía UANL. Marín, N.L.
- Patterson, J.C., J.J. Murray y J.R. Short (1980). The impact of urban soils on vegetation. Proceedings of the Third Conference of the Metropolitan Tree Improvement Alliance. *METRIA* 3: 33-56.
- Salazar, S.E., H.I. Trejo-Éscareño, C.V. Vázquez y J.D. López-Martínez (2007). Producción de maíz bajo riego por cintilla con aplicación de estiércol bovino. *Phyton, Revista Internacional de Botánica Experimental* 76: 169-185.
- Smith, J.E., J.A. Hilbert y M.O. Aucana (2005). Clasificación de vehículos en función del grado de compactación ejercida sobre suelo agrícola. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. CADIR Buenos Aires, AR., 5 p.
- Tirado-Corbalá, R. (2005). Efecto de la compactación del suelo en el desarrollo de especies forestales utilizadas para la reforestación urbana. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez, 107 p.
- Villegas, A.Y., A. Hernández, J. Pérez, C. López, J.G. Herrera, J.F. Enriquez y A. Gómez (2004). Patrones estacionales de crecimiento de dos variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica Pecuaria en México, Méx.* 42: 145-158.