

INCORPORACIÓN DE BIOMASA EN UN SUELO VERTISOL Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD DE COMPACTACIÓN

BIOMASS INCORPORATION ON A VERTISOL SOIL AND ITS RELATIONSHIP WITH THE COMPACTION DENSITY

Euriel Millán^{1*}, Miguel E. Feria², Froilán D. Díaz², Carlos A. Millán³

Recibido para publicación: Enero 23 de 2013 - Aceptado para publicación: Mayo 13 de 2013

RESUMEN

Un suelo compactado evidencia un deterioro en las propiedades físicas y afecta el crecimiento de las plantas. El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos que produce la incorporación de biomasa en un ensayo de compactación, a un suelo de explotación ganadera sobre las curvas de compactación del mismo. Se utilizó un suelo Vertisol de Sincelejo (Sucre). Se analizaron las propiedades físicas del suelo, como textura, densidad real y aparente; densidades máximas de compactación y contenidos de humedad en los que se alcanzaba dicha compactación. Se determinó mediante software estadístico la relación que existe entre la incorporación de materia orgánica y las variaciones en la densidad máxima y la humedad del suelo. Para determinar la densidad máxima del suelo y humedad crítica se utilizó diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Los tratamientos estudiados corresponden a un factorial 2 X 4, siendo dos los tipos de materia orgánica (húmeda y seca), y cuatro las cantidades de materia orgánica. Se encontró que la densidad máxima en condiciones normales (sin incorporación de materia orgánica) es de 1,421 g cm⁻³ y 26,573% de humedad; se alcanzaron valores de 1,406 g cm⁻³ y 28,074%, y 1,379 g cm⁻³ y 26,833% para incorporaciones de 20 Mg ha⁻¹ de biomasa húmeda y seca respectivamente. La densidad máxima con respecto a la cantidad y tipo de materia orgánica incorporada señala un efecto estadísticamente significativo. La incorporación de biomasa al suelo Vertisol ayuda a disminuir las densidades máximas de compactación, y aumenta el contenido de humedad.

Palabras clave: Compactación del suelo, densidad del suelo, humedad, materia orgánica.

ABSTRACT

A compacted soil is a sign of degradation of its soil physical properties that affect plant growth. The objective of this study was to evaluate the effects of biomass incorporation on soil compaction in a livestock farm. A

¹MSc Suelos y Nutrición Vegetal, Docente Universidad de Sucre, Sincelejo-Colombia, Carrera 28 No 5-267, Tel: 2821240 Ext 209-210, E-mail: euriel.millan@unisucre.edu.co.

²Ing. Agrícola. Investigador Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Sincelejo- Colombia.

³MSc Ing. Civil, Investigador Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería, Bucaramanga-Colombia.

Vertisol soil in Sincelejo (Sucre) was used. Soil physical properties such as texture, real density and bulk density, maximum densities of compaction and moisture content at maximum densities of compaction were assessed. Correlation analysis was used to determine the relationship between soil organic matter, maximum densities and soil moisture. A randomized complete block design, with three repetitions, was used to determine the soil maximum density and the critical soil moisture. A 2X4 factorial treatment arrangement design was used, with two types of biomass (dry and wet) and four amount of organic matter. The soil maximum density under natural conditions (without incorporation of organic matter) was $1,421 \text{ g cm}^{-3}$ with soil moisture of 26,573%. When 20 Mg ha^{-1} of wet or dry biomass were added to the soil, the soil maximum density and soil moisture reached values of $1,406 \text{ g cm}^{-3}$ and 28,074% and $1,379 \text{ g cm}^{-3}$ and 26,833%, respectively. There was a significant difference between the amount and type of organic matter added to the soil related to the soil maximum density. Incorporation of biomass to the soil used in this study helped to decline the soil maximum densities and increased soil moisture.

Keywords: Soil compaction, soil density, moisture content, organic matter.

INTRODUCCIÓN

Por compactación se entiende a la compresión del suelo no saturado, en el cual acontece un aumento de la densidad y reducción del volumen poroso. Un concepto más práctico se define como una disminución del volumen y clase de tamaño de poros, ocasionada por el tráfico de animales o máquinas (Richart et al. 2005), también con consecuencias en la fase sólida.

La estructura del suelo, cuando es analizada en una escala muy pequeña, revela una reducción en tamaño y número de macroporos mostrando cambios en la forma y continuidad de ellos. En una escala mayor se observan alteraciones en el tipo de empaquetamiento de los agregados, lo que afecta, características como: índice de vacíos, porosidad total y densidad del suelo. Cuando la fuerza de compactación es mayor más fácil será exceder la fuerza de agregación, lo que finalmente resulta en una completa homogenización y deterioro tanto de la estructura original como de la macroporosidad (Horn et al. 2001). Al analizar el efecto de la carga animal por hectárea sobre la compactación, investigadores encontraron

un aumento en la resistencia a la penetración incluso hasta profundidades de 0,18 m, siendo estos valores crecientes con el aumento en la intensidad del pastoreo (Conte et al. 2007).

Los suelos de partículas finas necesitan mayor cantidad de humedad para lograr la compactación óptima que los suelos de partículas más gruesas (Gurtug y Sridharan 2004). La compactación de suelo provoca modificaciones en su estructura, que reducen la porosidad, disponibilidad de agua y nutrientes (Goedert et al. 2002). A una misma densidad de suelo y un mismo contenido de humedad, el suelo es más compresivo cuanto mayor es el contenido de arcilla y menor el contenido de materia orgánica. Lima et al. (2004) indican que suelos arenosos presentan mayor fricción entre las partículas, lo que dificulta el movimiento de las partículas sólidas para posiciones de mayor proximidad.

La concentración de materia orgánica en el suelo es el factor que más influye sobre la densidad aparente (Heuscher et al. 2005). La reducción de la densidad del suelo puede ser atribuida al aumento de la materia orgánica,

disminuyendo también la compactación, por el hecho que la materia orgánica influencia en el poder de absorción de agua del suelo (Figueiredo et al. 2000). El aumento en el contenido de materia orgánica beneficia al suelo en cuanto a mejora del agua, formación de agregados estables, reducción de la densidad aparente y rendimiento de los cultivos (Ogban et al. 2008).

El ensayo más utilizado en el estudio de compactación del suelo en laboratorio ha sido el ensayo de Proctor Normal para simular las cargas provenientes de las maquinarias y/o animal sobre el suelo. En varios estudios de compactación del suelo, la densidad del suelo ha sido utilizada como indicador del nivel de compactación (Diaz – Zorita 2000; Krzic et al. 2000; Queiroz – Voltan et al. 2000). Generalmente, el estado de compactación de un suelo es caracterizado por la densidad del suelo. El aumento en la densidad del suelo reduce el tamaño de los poros para el flujo de agua y la conductividad hidráulica del suelo (Stone et al. 2002). En suelos bajo uso agrícola las variables edáficas que mayor efecto tuvieron sobre el comportamiento de la curva de compactación y de las variables humedad crítica de compactación y densidad máxima fueron el contenido de materia orgánica, el limo y la arena (Reyes 2010). En suelos ensayados con el método de Proctor se encontraron variaciones de densidad aparente entre $2,1 \text{ Mg m}^{-3}$ para concentraciones mínimas de carbono orgánico en el suelo y $0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ para concentraciones máximas de carbono orgánico en el suelo (Ruehlmann y Körschens 2009). La compactación por el ensayo de Proctor, se torna menor a medida que crece la cantidad de material orgánico existente en el suelo (Shroff y Shah 2003).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de biomasa en un suelo Vertisol (Typic Haplustert) sobre la curva de compactación del mismo y estudiar posibles alteraciones en la densidad y humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El área de estudio de 5000 m^2 , con el suelo tipo Vertisol (Typic Haplustert) se encuentra localizado en el municipio de Sincelejo departamento de Sucre, en predios de la Universidad de Sucre, en su sede "Puerta Roja". La georeferenciación de los suelos es $9^{\circ} 19' 6.84'' \text{ N}$. y $\text{Long: } -75^{\circ} 23' 35.52'' \text{ E}$. y una elevación de 184 m.s.n.m. El clima de la zona pertenece a la clasificación de bosque seco tropical (Instituto Geográfico Agustín Codazzi 2002), presenta precipitaciones anuales de 1086,1 mm. y temperatura promedio anual de $27,5^{\circ}\text{C}$. Geológicamente en el área de estudio se presentan materiales sedimentarios arcillolíticos que alternan en algunos casos con areniscas y conglomerados. La fisiografía consta de paisajes situados en valles coluvio-aluvial rodeado de colinas.

Selección y recolección de muestras. Las muestras se colectaron de los primeros 0.2 m del perfil de suelo (Ap). La textura del sitio de estudio es arcillosa del tipo 2:1, donde predomina la arcilla montmorillonita, su densidad aparente es de $1,83 \text{ g cm}^{-3}$, la densidad real es de $2,59 \text{ g cm}^{-3}$ y el contenido de materia orgánica tiene un valor de 1,27%, clasificada como baja en contenido. Las muestras se sometieron a un secado natural en laboratorio. Posteriormente los terrones se desmenuzaron y finalmente se pasaron por el tamiz número cuatro (#4) de 4,75 mm. Una

vez terminado el proceso de preparación de las muestras se procedió al corte de la biomasa necesaria de acuerdo a las cantidades para incorporarla al suelo y realizar los ensayos de compactación. En el Proctor base se compactó el suelo en condiciones naturales y luego con incorporaciones de biomasa seca con 14,38% de humedad y biomasa húmeda con 57,32% de humedad. Para la realización del ensayo de Proctor con y sin incorporación de materia orgánica (*Guinea mombaza*) se usaron muestras de 4 kg de material (suelo y materia orgánica) por punto, luego de humedecerlas se adicionaron en el molde de Proctor, de tal modo que ocuparon 1/3 del volumen.

La mezcla de materiales (suelo + materia orgánica) recibieron 25 golpes con un martillo de 2,5 kg desde una altura de 0,3 m, representando una energía constante de compactación de $60,5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-3}$, esta operación se repitió 3 veces, a fin de completar el volumen del cilindro de prueba. Se retiró el exceso de suelo con una espátula, y finalmente se pesó el conjunto. El procedimiento se repitió 5 veces por ensayo a fin de obtener los 5 puntos de cada grafica Densidad Vs Humedad.

Análisis estadístico. Las curvas se modelaron mediante software estadístico Sigmaplot® 10, utilizando la regresión polinómica de grado 2; se determinó la relación que existe entre la incorporación de materia orgánica y las variaciones en la densidad máxima y la humedad del suelo. Por medio del análisis de regresión se determinó una ecuación para cada uno de los casos, junto con los respectivos coeficientes de correlación y con estos se cuantificó el grado de asociación entre variables. Se realizó un ANOVA Multifactorial

con el paquete estadístico STATGRAPHICS para comparar las diferentes variables. Para la determinación de la densidad máxima y la humedad crítica del suelo, los tratamientos estudiados correspondieron a un factorial 2 X 4, siendo dos (2) los tipos de materia orgánica (húmeda y seca) y cuatro (4) las cantidades de materia orgánica (1 Mg ha⁻¹, 5 Mg ha⁻¹, 10 Mg ha⁻¹, y 20 Mg ha⁻¹). En este ensayo se utilizaron bloques completos al azar, con tres repeticiones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación Densidad y Humedad del suelo. El resultado obtenido por medio del ensayo de Proctor normal y representado por la curva de compactación del suelo Vertisol Typic Haplustert se observan en la figura 1. El suelo alcanzó una densidad máxima de 1,42 g cm⁻³ a un contenido de humedad de 26,57% para la humedad base, reduciéndose con los posteriores incrementos en la humedad. Esta tendencia se puede explicar por la menor compresibilidad que presentan las fracciones texturales, al existir un mayor contenido de humedad en el suelo. Esto resultados concuerdan con los encontrado por (Millán y De Souza 2008) en otras investigaciones donde observaron la tendencia a disminuir la densidad máxima del suelo con el aumento en el porcentaje de humedad. Según Ekwue y Stone (1997) la curva de compactación depende de varios factores, tales como la energía de compactación, textura y materia orgánica del suelo. En ese sentido Pacheco Días Junior (1990), encontraron que a medida que se adicionada arena a un suelo oxisol amarillo, los valores de densidad máxima del suelo aumentaba y los de la humedad critica de compactación disminuían.

La variación en la densidad del suelo depende del contenido de humedad. La parte ascendente de la curva (Figura 1) se produce debido a que en el suelo, el agua actúa como lubricante, posibilitando la orientación y aproximación de las partículas, formándose un complejo más denso. La reducción en los valores de densidad que observamos por encima de la humedad crítica de compactación, se le atribuye al efecto de dilución de las partículas debido a que el suelo se encuentra en un medio totalmente saturado, conforme lo observado por Millán y De Souza (2008).

La materia orgánica posee propiedades para competir con las partículas minerales del suelo por el agua existente en el sistema, lo que depende de las características de la misma materia orgánica y de las características de las partículas minerales. Según lo indicado por Silva et al. (1986) esto ocurre porque la arcilla y la materia orgánica influyen el poder de adsorción de agua del suelo.

Los valores de densidad máxima para el suelo evaluado usando el ensayo de Proctor, mostraron ser dependientes de la cantidad de materia orgánica, ya que, disminuyeron con relación a la incorporación de materia orgánica, tanto húmeda como seca (Figura 1).

La disminución en la compactación y el aumento de humedad se comparó, y se comprobó la variación en las curvas de compactación para cada incorporación de materia orgánica al suelo en todas las cantidades incorporadas. Las curvas indican claramente una reducción en la densidad máxima de compactación (Figuras 1a y 1b) y un aumento en el contenido de humedad crítica. Esto se produce debido al hecho que la incorporación de materia orgánica al suelo produce disminución en densidad y aumento en el contenido de humedad del suelo (Figueiredo et al. 2000; Millán y De Souza 2008). Los valores de humedad crítica obtenidos en esta investigación pueden ser considerados como referentes para el preparo del suelo con el propósito de no introducir maquinaria agrícola

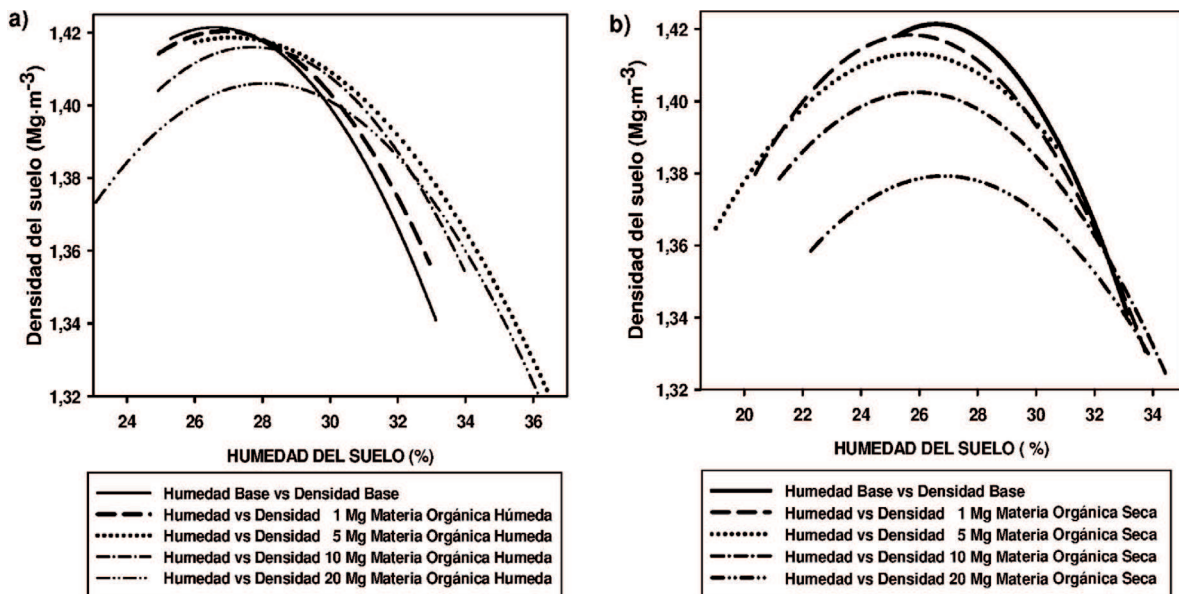


Figura 1. Relación densidad - humedad del suelo y contenido de materia orgánica.

cuando la humedad del suelo se encuentre cercana o superior a estos valores, debido a que aumentarían los riesgos de compactación.

A partir de las curvas de compactación se obtuvo: la humedad crítica de compactación y la densidad del suelo máxima (Tabla 1).

De la tabla 1 se determinaron los coeficientes de correlación (r) mediante una regresión lineal simple, el grado de asociación entre las variables y también la ecuación que las definen (Figura 2).

Teniendo en cuenta la relación entre la densidad máxima del suelo y la incorporación de materia orgánica, obtenemos unos coeficientes de correlación con valores significativos de 0,98 para material húmedo y 0,99 para material seco (Figura 2a), al igual que en la relación entre la humedad crítica de compactación y la incorporación de materia orgánica, con valores de 0,97 y 0,95 para material húmedo y seco, respectivamente (Figura 2b).

La materia orgánica presenta una correlación negativa con la densidad máxima y positiva con la humedad crítica (Millán y De Souza 2008).

Tabla 1. Humedad crítica de compactación y densidad máxima del suelo de acuerdo a la incorporación de materia orgánica húmeda y seca.

Tipo de ensayo	Materia orgánica húmeda		Materia orgánica seca	
	Humedad crítica (%)	Densidad máxima (Mg*m ³)	Humedad crítica (%)	Densidad máxima (Mg*m ³)
Proctor base*	26,573	1,421	26,573	1,421
Proctor 1 Mg ha ⁻¹	26,833	1,420	25,702	1,418
Proctor 5 Mg ha ⁻¹	27,098	1,418	25,765	1,413
Proctor 10 Mg ha ⁻¹	27,692	1,416	25,920	1,402
Proctor 20 Mg ha ⁻¹	28,074	1,406	26,833	1,379

*Sin incorporación de materia orgánica.

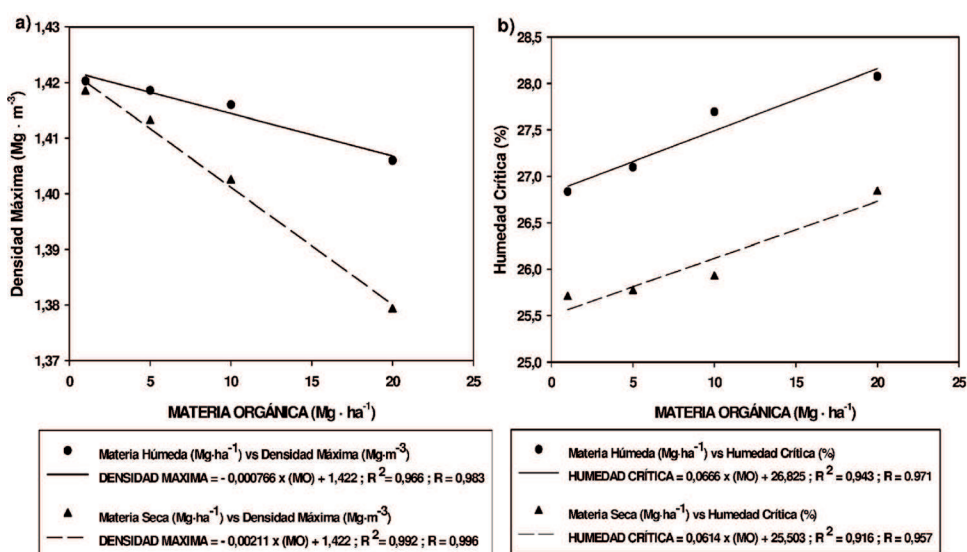


Figura 2. Densidad máxima (a) y humedad crítica (b), en función de las diferentes cantidades de materia orgánica húmeda y seca.

Dado el alto valor del R^2 , estas ecuaciones pueden ser empleadas para estimar la densidad máxima y la humedad crítica de compactación para el suelo evaluado. Stone & Ekwue (1993) reportan que la reducción de la densidad de máxima del suelo y el aumento de la humedad crítica de compactación con el aumento de la materia orgánica son atribuidos al bajo valor de densidad y al aumento de la humedad del suelo promovido por su adición.

El análisis de varianza para la densidad máxima con respecto a la cantidad de materia orgánica incorporada señala un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad máxima obtenida (p -value = 0,0001) (Figura 3a). Esto se debe a que el suelo adquiere mayor resistencia a la compactación a medida que se incorpora mayor cantidad de materia orgánica. Mayores contenidos de materia orgánica actúan como agentes cementantes manteniendo unidos los agregados y confiriéndoles una mayor capacidad de soporte a las presiones, por lo que los cambios de densidad son de menor cuantía (Soane 1990; Reyes 2010).

El análisis de varianza para la densidad máxima con respecto al tipo de materia orgánica incorporada señala un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad máxima (p -value = 0,0092) (Figura 3b). Este resultado se debe a que la materia orgánica es una buena herramienta para disminuir la compactación excesiva de los suelos. El material seco produce más disminución en la densidad del suelo y el material húmedo como el que más aporta humedad al suelo, demostrándose que ayuda a mejorar estas propiedades físicas. Silva et al. (2006), expone que el efecto de la materia orgánica sobre la resistencia del suelo puede ser relacionada a el efecto determinante en la formación y estabilización de agregados del suelo. Al respecto, Trannin et al. (2008) también expone que se debe considerar que la acumulación de materia orgánica puede ser relacionada a dos efectos contradictorios sobre la resistencia del suelo, que son el aumento de la fuerza de ligación entre las partículas minerales y el cambio en el arreglo de las partículas del suelo.

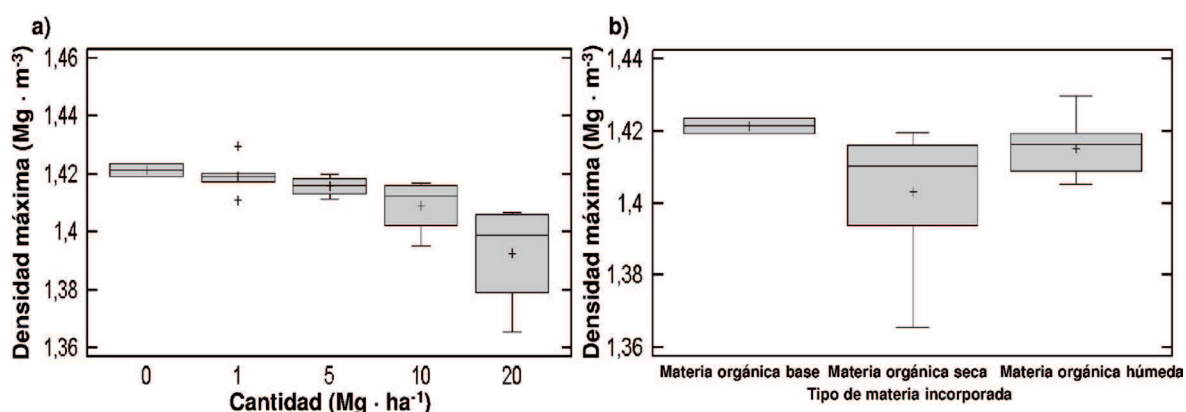


Figura 3. Densidad máxima en función de la cantidad de materia orgánica incorporada (a) y tipo de materia orgánica incorporada (b).

CONCLUSIONES

La incorporación de materia orgánica al suelo Vertisol, en distintas proporciones, mostró ser eficaz para la reducción de la densidad máxima del suelo y el aumento en el porcentaje de humedad crítico de compactación, reduciendo el riesgo de estos suelos a compactarse.

Se identificó al material seco como el que produce más disminución en la densidad del suelo y al material húmedo como el que más aporta humedad al suelo, demostrándose que ayuda a mejorar estas propiedades físicas.

REFERENCIAS

- Conte, O., Levien, R., Trein, C., Cepik, C. T. C. y Debiasi, H. 2007. Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. Revista Engenharia Agrícola 27:220-228.
- Diaz – Zorita, M. 2000. Effect of deep – tillage and nitrogen fertilization interactions on dryland corn (*Zea mays* L.) productivity. Soil & Tillage Research Journal 54:11-19.
- Ekwue, E. J. & Stone, R.J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. Trans. Am. Sci. Agric. Eng., 40:317-323, 1997.
- Figueiredo, A., Dias, S. y Ferreira, M. 2000. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num latossolo roxo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 24:487-493.
- Goedert, J., Schermack, J. y Freitas, C. 2002. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira 32:223-227.
- Gurtug, Y. y Sridharan, A. 2004. Compaction behavior and prediction of its characteristics of fine grained soil with particular reference to compaction energy. Journal Soil and Foundation 44: 27 -36.
- Heuscher, A., Brandt, C. y Jardine, M. 2005. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. Soil Science Society of America Journal 69:51–56.
- Horn, R., Way, T. y Rostek, J. 2001. Effect of repeated wheeling on stress/strain properties and ecological consequences in structure arable soils. Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal 1:34-40.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2002. Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia: zonificación agroecológica de Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bogotá, p88.
- Krzic, M., Fortin, M. C. y Bomke, A. 2000. Short – term responses of soil physical properties to corn tillage – planting systems in a humid maritime climate. Soil & Tillage Research Journal 54:171-178.
- Lima, R., Silva, P., Imhoff, S., Lima, V. y Leão, P. 2004. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. Revista Brasileira de Ciência do Solo 28:409-414.

- Millán, E. y DeSouza, C. 2008.** Incorporação de biomassa de braquiária em um latossolo vermelho amarelo e sua relação com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor normal. *Revista Engenharia na Agricultura* 16:359-368.
- Ogban, I., Ogunewe, N., Dike, I., Ajalo, C., Ikeata, I., Achumba, E. y Nyong, E. 2008.** Effect of tillage and mulching practices on soil properties and growth and yield of cowpea (*vigna unguiculata* (L), walp) in southeastern Nigeria. *Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension* 7:118 -128.
- Pacheco, A.A.R.C. & Dias Junior, M.S.** Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe, *Ci. Prát.*, 14:176-190, 1990.
- Queiroz–Voltan, B., Nogueira, S. y Miranda, C. 2000.** Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35:929-938.
- Reyes, W. 2010.** Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelos bajo uso agrícola en Venezuela. *Revista Bioagro* 22:29-36.
- Richart, A., Tavares, J., Rodrigues, O., Fuentes, R. y Ferreira, R. 2005.** Soil compacting: causes and effects. *Revista Semina: Ciências Agrárias* 26:321-344.
- Ruehlmann, J. y Körschens, M. 2009.** Calculating the Effect of Soil Organic Matter Concentration on Soil Bulk Density. *Soil Science Society of America Journal* 73: 876-885.
- Shroff, V. y Shah, L. 2003.** Soil mechanics and geotechnical engineering. A. A. Balkema Publishing Company, Londres, p547.
- Silva, A.P.; Libardi, P.L. & Camargo, O.A.** Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.
- Soane, B. 1990.** The role of organic matter in soil compactability: A review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16:179-201.
- Stone, R.J. & Ekwue, E.I.** Maximum bulk density achieved during soil compaction as effected by the incorporation of three organic materials. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, 36:1713- 1719, 1993.
- Stone, F., Guimarães, M. y Moreira, A. 2002.** Compactação do solo na cultura do feijoeiro – efeitos nas propriedades físico – hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6: 207-212.
- Trannin, I.C. de B.; Siqueira, J.O.; Moreira, F. M. S.** Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.3, p.223-230, 2008.