

COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

Carlomagno Salazar-Calvo¹, José P. González-Venegas², Daniel Corrales-Valverde³, José Lacayo-Vega⁴, Kevin Carrillo-Montoya⁵ y Hugo Montero-González⁶

RESUMEN

Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. La densidad aparente (D_a) es una de las determinaciones más utilizadas alrededor del mundo para medir la calidad de un suelo. Actualmente, las metodologías para determinar la calidad física de un suelo, presentan una pobre estandarización y existe una creciente necesidad de metodologías alternativas que sean de bajo costo y generen resultados confiables en un periodo corto de tiempo. Se realizó un experimento en un suelo, donde se comparó el método utilizado por el laboratorio de suelos del INTA, con uno propuesto por investigadores coreanos para la determinación de la D_a en campo. Se encontraron diferencias en cuanto al tipo de método utilizado ($p < 0,0001$) y no se encontró correlación alguna entre métodos. Lo anterior sugiere que las metodologías arrojaron resultados diferentes de D_a , por lo que el método de Corea no pudo ser considerado como un método alternativo al utilizado en el laboratorio del INTA en Costa Rica.

Palabras Clave: Calidad física, metodologías alternativas, determinación en campo.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas del suelo son determinantes para el desarrollo de cualquier cultivo ya que condicionan el crecimiento de las raíces de las plantas (Sequeira *et al.* 2014). Por otra parte, las propiedades físicas también cumplen un papel importante en cuanto al ingreso y almacenaje de agua, en otras palabras, establece si un suelo es un buen reservorio de agua o no, lo cual es de suma importancia para el desarrollo de cualquier actividad agrícola (Martín *et al.* 2017). Además, tienen gran efecto sobre la dinámica del agua a través de los horizontes del suelo, cuando ésta se infiltra.

Como es bien conocido y estudiado, las propiedades físicas del suelo son alteradas por el manejo agrícola que le da el hombre a dicho recurso, afectando de esta forma los diferentes

procesos químicos y biológicos que son esenciales para crear un ambiente adecuado para el desarrollo de los cultivos (Xu *et al.* 2016).

Varios autores sostienen que se debería de seleccionar y cuantificar un número mínimo de características del suelo, con el fin de evaluar la calidad del mismo (Larson y Pierce 1994; Govaerts *et al.* 2006). En este sentido, se han propuesto diferentes parámetros del suelo que incluyen propiedades tales como: MOS (materia orgánica del suelo), capacidad de infiltración, estabilidad de los agregados, sellado superficial, porosidad, pH, D_a , resistencia a la penetración, resistencia a la mecanización o labrado, salinidad, textura, capacidad de almacenamiento de agua, nitrógeno, fósforo disponible, biomasa microbiana y

1,2,3,4,5,6. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, INTA. Costa Rica.
Contacto: csalazar@inta.go.cr. Sede del INTA, Ochomogo, Cartago.

Recepción: 10.11.2017. Aceptación: 29.07.2019.

respiración del suelo (Doran y Parkin 1994; Karlen y Stott 1994; Doran y Parkin 1996; Aparicio y Costa 2007; Campitelli *et al.* 2010).

Una de las propiedades físicas que es ampliamente utilizada para determinar la calidad física de un suelo es la Da (Sequeira *et al.* 2014). La Da se define como la relación de la masa de suelo seco por unidad de volumen del mismo (g.cm⁻³ o Mg.m³). Es importante destacar que la Da está íntimamente relacionada con el volumen de partículas sólidas y espacio poroso (Henríquez y Cabalceta, 2012). Por otra parte, esta propiedad del suelo es muy útil para transformar la humedad gravimétrica en volumétrica, calcular láminas de riego, estimar la masa de la capa arable, calcular la porosidad del suelo, obtener el índice de compactación (capas endurecidas), determinar la presencia de cantidades significativas de cenizas volcánicas, establecer el grado de meteorización y alteración del horizonte C formado a partir de rocas ígneas o metamórficas, detectar las pérdidas o adiciones de materiales entre horizontes y estimar la capacidad de aireación y drenaje (Alvarado y Forsythe, 2005; Buol *et al.* 2011; Henríquez y Cabalceta, 2012).

Es importante recalcar la relación existente entre la Da con la densidad de partículas y la porosidad total de un suelo. Un cálculo preciso de la densidad de partículas, como de la Da, es crítico a la hora de realizar mediciones volumétricas y gravimétricas del suelo, así como en el área de génesis y clasificación de suelos (Alvarado y Forsythe 2005). La densidad de partículas presenta una relación estrecha con la mineralogía dominante de los minerales primarios y secundarios del suelo y puede presentar valores entre 2,00-2,65 g cm⁻³ (Porta *et al.* 2003).

Como se mencionó anteriormente, la Da es un indicador de compactación del suelo en donde se determina la pérdida estructural del mismo (Keller y Håkansson 2010). Además, ayuda en la determinación de la resistencia del suelo a la penetración y elongación de las raíces (Keller y Håkansson 2010). Por otro lado, es bien conocido que la Da en la gran mayoría de los suelos aumenta con la profundidad en el perfil del suelo, esto es debido al peso del material superficial y al manejo que se le ha dado al suelo. Por ejemplo, la compactación provocada por la labranza, lo que

genera es una disminución del espacio poroso (Dexter 2004).

Para la determinación de la Da de un suelo, se han utilizado diferentes métodos que van desde observaciones en campo, hasta metodologías que requieren de instrumentación de laboratorio con algún grado de precisión. Uno de los métodos más utilizados en Costa Rica es el del cilindro, el cual es utilizado por el INTA en Costa Rica. Dicha estimación termo gravimétrica presenta la desventaja de requerir de un horno de alto costo y los resultados son obtenidos después de 24 horas (Radulovich 2009).

Por otro lado, el método coreano se basa en el principio de Arquímedes el cual indica que todo cuerpo sumergido en un fluido, experimenta un empuje o fuerza vertical hacia arriba igual al peso del fluido expulsado (Heuscher *et al.* 2005). Por lo tanto, con dicho principio se puede obtener la proporción de la fase sólida, líquida y gaseosa, para posteriormente realizar el cálculo de la Da de una muestra de suelo (Kyung-Hwa 2017). Al ser una metodología *in situ*, esta se realiza en un periodo corto de tiempo, además, no emplea equipo especializado por lo que es un método de bajo costo. Sin embargo, el método debe de validarse y compararse con la metodología utilizada por el INTA, con el fin de determinar su confiabilidad.

Debido a la gran importancia que tiene la Da en la determinación de la calidad física del suelo y a la necesidad de estandarizar las metodologías para obtener una opción más rápida, menos costosa y que permita realizar mediciones *in situ*, se estableció como objetivo general de la investigación determinar si el método de medición de Da propuesto por especialistas coreanos, puede ser un método alternativo al realizado por el laboratorio de suelos del INTA para realizar el cálculo de Da directamente en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el laboratorio de suelos del INTA, ubicado en el distrito de San Rafael, en el cantón de la Unión de la provincia de Cartago. Las muestras fueron tomadas en la finca del INTA, ubicada en el Alto de Ochomogo (9,90962o N, -83,96369o O).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completamente al azar con el sitio de muestreo como factor de bloqueo. Se realizaron cuatro repeticiones y cada tratamiento constó de cinco réplicas. La unidad experimental estuvo definida por cilindros biselados individuales con muestras de suelo indisturbado (Figura 1 y 2). Se tomaron del suelo, un total de 40 muestras (20 muestras por método evaluado).



Figura 1. Procedimiento en campo para la toma de las muestras para la determinación de la Da. Cartago- Costa Rica, 2017.

Los tratamientos se definieron de acuerdo a las metodologías de estimación de la Da, los cuales fueron: i) metodología del cilindro (utilizada en el laboratorio del INTA) y ii) metodología de tres fases basada en la ley de Arquímedes (propuesta por investigadores de Corea). Las muestras de suelo para cada tratamiento fueron tomadas con cilindros biselados con un volumen de 81,11 cm³ en la parte superficial del suelo (primeros 10 cm).

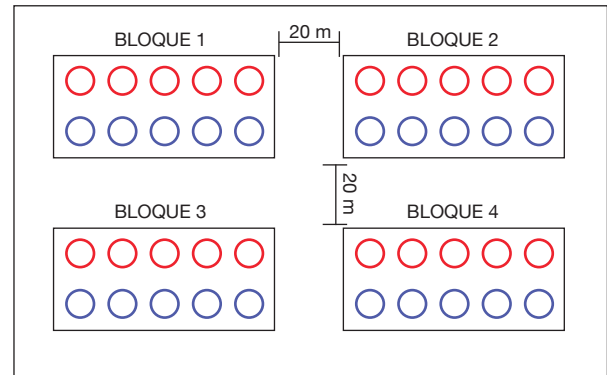


Figura 2. Diseño experimental del ensayo de comparación de métodos para la determinación de Da (método INTA-círculos rojos; método Corea-círculos azules). Cartago-Costa Rica, 2017.

La metodología del cilindro (utilizada en el INTA), es un procedimiento termo gravimétrico en donde cada muestra fue secada a una temperatura de 105 oC por 24 h (Uhland 1950; Forsythe 1980; Klute y Dinauer 1986; Lampurlanés y Cantero-Martinez 2003; Alvarado y Forsythe 2005). El valor de Da se obtuvo de la siguiente manera:

$$Da = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)}}$$

De acuerdo con la metodología de tres fases propuesto por Corea, cada muestra de suelo húmedo fue pesada con la ayuda de una balanza granataria (A), luego se tomó una probeta de 1 litro a la cual se le adicionó 80 ml de agua destilada. Seguidamente se depositó el suelo lentamente en la probeta y la mezcla en la probeta (suelo + agua destilada) fue agitada con la ayuda de una espátula para eliminar los remanentes de aire (Kyung-Hwa 2017). Por último, se anotó el cambio en el volumen de la probeta (B) para luego obtener el valor de Da con la realización de los siguientes cálculos:

$$PG (\%) = \text{volumen del cilindro (cm}^3\text{)} - B$$

$$PS (\%) = (A - B) / DP - D \text{ agua}$$

$$PL (\%) = 100 - PG - PS$$

$$Da = DP \times PS / 100$$

Donde:

PG = Proporción de la fase gaseosa (%)

PS = Proporción de la fase sólida (%)

PL = Proporción de la fase líquida (%)

DP = Densidad de partículas (2,6 mg.m⁻³)

D agua = Densidad del agua (1,0 mg.m⁻³)

Da = Densidad aparente del suelo (g.cm⁻³)

A = Peso del suelo húmedo (g)

B = Volumen del suelo húmedo (cm³)

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa R (R for Statistical Computing-Version 1.0.153). Se realizó un análisis exploratorio de los datos de

la variable en cuestión (Da), en donde se aplicó las pruebas de Shapiro Wilk y la prueba de Bartlett para verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Los datos cumplieron con los supuestos mencionados anteriormente.

En cuanto al análisis estadístico formal, se realizó un análisis de varianza de un modelo lineal y un modelo mixto (el método de estimación de Da se determinó como un factor fijo y el efecto del bloque o sitio de muestreo como un factor aleatorio), con el fin de determinar si habían diferencias o no entre las metodologías evaluadas. Se decidió realizar el análisis de varianza de acuerdo con el modelo lineal, ya que el resultado fue el mismo con ambos modelos. Las medias fueron comparadas con el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD), con un nivel de significancia de 0,05.

Por último, se determinó la asociación existente entre los resultados obtenidos de Da con cada uno de los métodos estudiados, mediante un análisis de correlación de Spearman.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias principalmente asociadas al método de determinación de la Da (Cuadro 1). Lo anterior se pudo deber a las diferencias en las fuerzas internas al usar un método con un suelo húmedo y otro método con un suelo seco. Dec et al. (2015) en su investigación, menciona que las fuerzas internas afectan la estructura de los suelos a través de los ciclos de mojado y secado. El secado del suelo provoca una disminución del tamaño de los agregados conocido como un proceso de contracción del suelo. La humectación provoca una hinchazón y lleva al suelo a un volumen similar al que tenía antes de la contracción, lo que depende de las características intrínsecas del suelo (cantidad y tipo de arcillas presentes, por ejemplo) y de la intensidad de secado.

De acuerdo con el método de estimación de la Da, se encontró una diferencia de 0,14 g.cm⁻³ en donde el método utilizado por el laboratorio del INTA obtuvo valores de Da superiores a los obtenidos por

el método propuesto por investigadores de Corea (Cuadro 1). Lo anterior se pudo deber a la diferencia en el grado de humedad con el que se procesan las muestras según la metodología empleada. De acuerdo a lo anterior, el método coreano utiliza muestras de suelo con el grado de humedad en el momento en que son recolectadas en campo, lo cual puede influir a la hora de la determinación de la Da. Los ciclos de mojado y secado generan un ordenamiento en las partículas primarias del suelo provocando una variación en la estimación de la Da (Horn 1993).

Como se mencionó anteriormente, existen varios factores que influyen en la determinación de la Da y que pueden aportar variabilidad a la hora de realizar la estimación. Características como la textura y el contenido de materia orgánica, influyen en una adecuada determinación de la Da. Hay estudios como el realizado por Lestariningsih y Hairiah (2013), donde los valores de Da fueron mayores

con el método del cilindro, en comparación con los obtenidos con el método de la caja rectangular. Lo anterior se atribuyó a que los métodos de medición varían significativamente con la textura y el contenido de materia orgánica. Al comparar las desviaciones estándar de cada método, se obtuvo que el método del cilindro presentó menos variabilidad de acuerdo con las condiciones heterogéneas del suelo. Según los resultados obtenidos en la investigación, la diferencia en las desviaciones estándar fue mínima (Cuadro 2), pero factores como los mencionados anteriormente (textura y materia orgánica), pudieron generar las diferencias observadas entre los métodos utilizados. Por lo tanto, sería recomendable evaluar la sensibilidad de cada método a la variabilidad presente en campo y lograr determinar cuál método puede ser más confiable de acuerdo con los objetivos que se persiguen.

Otros investigadores, obtuvieron una fuerte correlación entre la materia orgánica y la Da. Chaudhari et al. (2013), declararon una correlación inversa entre la materia orgánica y la Da, por lo que se indica que con el aumento del contenido de materia orgánica la Da disminuye. Por otro lado, Sakin (2012) obtuvo una fuerte correlación entre la Da y el contenido de materia orgánica.

Aparte de la perturbación de la estructura del suelo causada por un método en particular, otro

factor importante a considerar en la determinación de la Da, es el tamaño y representatividad de la muestra. En el estudio realizado por Han *et al.* (2016), en donde se determinó el tamaño óptimo de muestra para el control del error en la estimación de la Da mediante un método tradicional y un método de bootstrap, se obtuvo que el tamaño de muestra necesario fue de 3 a 17 observaciones para la estimación de la Da con un nivel de precisión de $\pm 10\%$ a un nivel de confianza de 95%. Según lo anterior, para este estudio, la toma de 20 muestras por método de medición, evidencia que fue correcto el tamaño de muestra utilizado en el estudio.

A nivel taxonómico, la selección de un método determinado para la estimación de una característica del suelo como lo es la Da, representa un punto importante. En esta investigación se obtuvo una diferencia de 0,14 g.cm⁻³ entre los métodos evaluados, de acuerdo con las medias obtenidas. Lo anterior es crítico a la hora de definir un orden de suelo, ya que el resultado obtenido según el método utilizado, puede influir considerablemente. Por ejemplo, en un orden como el Andisol, que se caracteriza por tener una Da menor a 0,90 g.cm⁻³ (Nanzyo 2002; Soil Survey Staff 2014), la diferencia o variabilidad encontrada entre métodos en esta investigación, puede ser suficiente para salirse de las características requeridas para clasificar un suelo como Andisol.

Cuadro 1. Densidad aparente del suelo obtenida mediante dos métodos diferentes. Cartago- Costa Rica, 2017.

Variable	Densidad aparente (g cm ⁻³)
Método (M)	
Corea	1,02 a ††
INTA	1,16 b
ANOVA	
M	***

*, **, *** Significancia a un nivel de probabilidad de 0,05, 0,01 y 0,001, respectivamente.

† La separación de medias se realizó con la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher sobre los datos originales.

‡ Medias que no compartan una letra común dentro de las columnas son estadísticamente diferentes ($p < 0,05$) de acuerdo a la prueba de diferencia mínima significativa.

Cuadro 2. Medidas resumen de los datos de densidad aparente por método. Cartago- Costa Rica, 2017.

Método	n	Media	D.E	CV (%)	Mínimo	Máximo
Corea	20	1,02	0,07	6,41	0,88	1,15
INTA	20	1,16	0,08	6,51	1,01	1,29

En esta investigación, no se encontró correlación entre los valores de Da obtenidos por el método del cilindro y los que resultaron con el método de tres fases en probeta (Figura 3). En el estudio realizado por INTA de Argentina (2012), comparando los métodos del cilindro (laboratorio), de parafina y el de probeta en un suelo franco arcilloso; no encontró correlación alguna entre los valores obtenidos con los métodos de parafina y probeta, con respecto al

del cilindro. De acuerdo con las medias obtenidas, el método de la parafina arrojó los valores más altos (presentando gran cantidad de valores extremos) y el de la probeta los más bajos. Los valores obtenidos con el método del cilindro fueron los más congruentes con los valores típicos para el tipo de textura evaluada. Se determinó al método del cilindro, como la metodología más confiable.

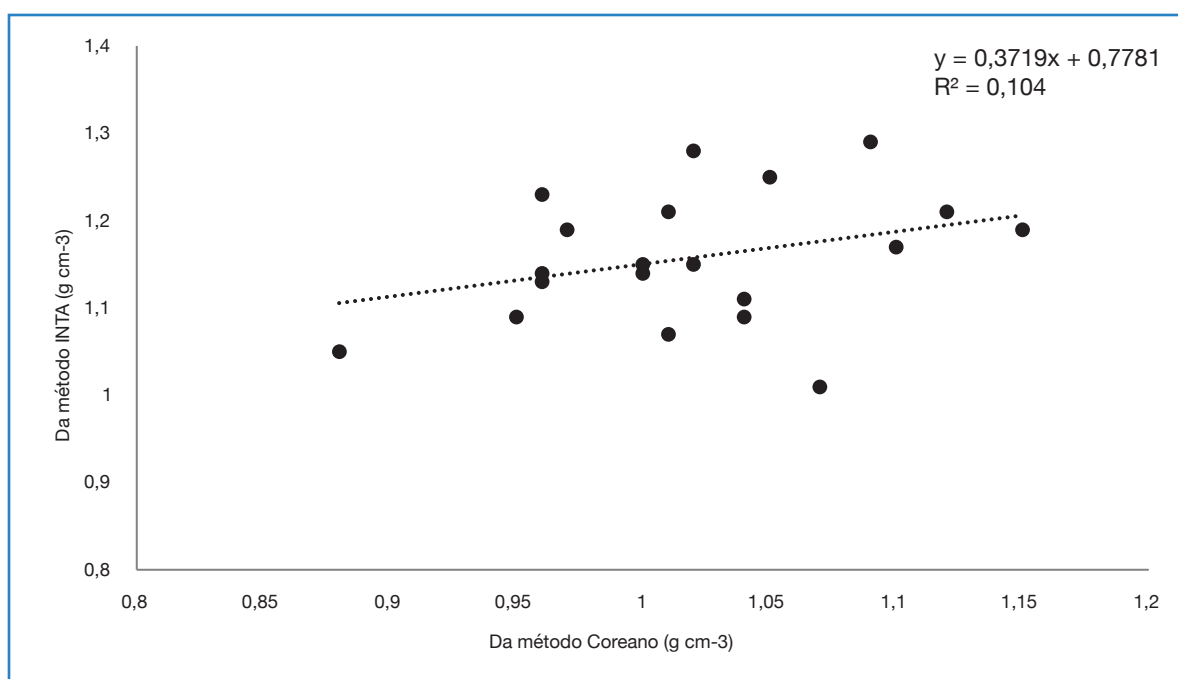


Figura 3. Análisis de correlación de Spearman entre los datos de densidad aparente obtenidos con el método utilizado por el INTA y el método coreano. Cartago- Costa Rica, 2017.

La determinación de la Da en campo, tiene el problema de la variabilidad que puede presentar el suelo y cómo disminuir el error que esto implica a la hora de la medición de la Da. Según Hossne y Cedeño (2012), al estimar la Da en campo a dos profundidades con tres metodologías diferentes (i. método del densímetro, ii. método del Uhland con caída libre de martillo y iii. método del Uhland con caída forzada), se obtuvo mucha variabilidad de un método con respecto al otro. Además, se

dieron valores diferentes de Da de acuerdo con la metodología utilizada y se demostró diferencia estadística entre los métodos. Los resultados de Hossne y Cedeño (2012), coinciden con los obtenidos en este ensayo.

En general, métodos directos e indirectos son utilizados para la medición de la Da actualmente. Aunque se ha encontrado que hay una concordancia general entre los resultados obtenidos con ambos

métodos, también se han reportado amplias diferencias entre métodos directos principalmente (Timm et al. 2005). Los resultados expuestos por Timm et al. (2005) concuerdan con los resultados obtenidos en esta investigación por lo que se confirma que hay una carencia en cuanto a la estandarización de métodos para la determinación de la Da.

Por último, debido a la gran importancia que tiene la Da en la determinación de la calidad física del suelo, es necesario ampliar el panorama en cuanto a definir y estandarizar metodologías, que permitan una medición rápida de la Da en campo y que sean de bajo costo. Aún así, el reto más grande está en lograr implementar una metodología en donde se integre más de una característica del suelo para realizar una evaluación más amplia de la calidad del suelo.

LITERATURA CITADA

Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(1):85-94.

Aparicio, V; Costa, JL. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* 96(1):155-165.

Buol, SW; Southard, RJ; Graham, RC; McDaniel, PA. 2011. *Morphology and Composition of Soils: Soil Genesis and Classification*. Oxford, United Kingdom, Wiley-Blackwell. p. 35-87.

Campitelli, P; Aoki, A; Gudelj, O; Rubenacker, A; Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del suelo* 28(2):223-231.

Chaudhari, PR; Ahire, DV; Ahire, VD; Chkravarty, M; Maity, S. 2013. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore soil. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3(2):1-8.

Dec, D; Ivelic-Sáez, J; Zúñiga, F. 2015. Parámetros de capacidad e intensidad del sistema poroso para evaluar la calidad física de un Andisol bajo pastoreo. *Agro sur* 43(2):77-87.

Dexter, A. 2004. Soil physical quality: part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120(3):201-214.

Doran, JW; Parkin, TB. 1994. *Defining and Assessing Soil Quality. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI Soil Science Society of America and American Society of Agronomy p.1-21. (SSSA Special Publication, no. 35).

Doran, JW; Parkin, TB. 1996. *Quantitative Indicators of Soil Quality: A Minimum Data Set. Methods for Assessing Soil Quality*. Madison, WI Soil Science Society of America p. 25-37. (SSSA Special Publication, no. 49).

Forsythe, W. 1980. *Física de suelos: manual de laboratorio*. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 212 p.

Govaerts, B; Sayre, KD; Deckers, J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and Tillage Research* 87(2):163-174.

Han, Y; Zhang, J; Mattson, KG; Zhang, W; Weber, TA. 2016. Sample sizes to control error estimates in determining soil bulk density in California forest soils. *Soil Science Society of America Journal* 80(3):756-764.

Heuscher, SA; Brandt, CC; Jardine, PM. 2005. Using Soil Physical and Chemical Properties to Estimate Bulk Density. *Soil Science Society of America Journal* 69(1):51-56.

Henríquez, C; Cabalceta, A. 2012. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 2 ed. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo UCR/CIA-ACCS. 60 p.

Horn, R. 1993. Mechanical properties of structured unsaturated soils. *Soil technology* 6:47-75.

Hossne, AJ; Cedeño, HJ. 2012. Three methods of determining soil bulk density and solidity in three savanna sandy loam soils. *Revista Científica UDO Agrícola* 12(4):861-872.

INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina). 2012. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa - Ensayos - Anlofava. 2017 (en línea). Provincia de Chaco, Argentina. 3 p. Consultado 13 nov. 2017. Disponible en <http://www.buenastareas.com/ensayos/Comparaci%C3%B3n-De-M%C3%A9todos-De-Determinaci%C3%B3n-En/24451436.html>

Karlen, DL; Stott, DE. 1994. A Framework for Evaluating Physical and Chemical Indicators of Soil Quality. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, p. 53-72. (SSSA Special Publication, no. 35).

Keller, T; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154(3):398-406.

Klute, A; DINAUER, RC. 1986. Physical and mineralogical methods. *Planning* 8(9):363-375.

Kyung-hwa, H. 2017. Diagnóstico in situ de las propiedades físicas del suelo KoLFAci. Korea Rural Development Administration. p. 92-99.

Lampurlanés, J; Cantero-Martinez, C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal* 95(3):526-536.

Larson, WE; Pierce, FJ. 1994. The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI, Soil Science Society

of America and American Society of Agronomy, p. 37-51, (SSSA Special Publication no. 35).

Lestariningsih, I; Hairiah, K. 2013. Assessing soil compaction with two different methods of soil bulk density measurement in oil palm plantation soil. *Procedia Environmental Sciences* 17:172-178.

Martín, MÁ; Reyes, M; Taguas, FJ. 2017. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. *Geoderma* 287:66-70.

Nanzyo, M. 2002. Unique properties of volcanic ash soils. *Global Environmental Research* 6(2):99-112.

Porta, J; Reguerín, LA; de Laburu, MR. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. (en línea). Oaxaca, México. 929 p. Consultado 13 nov. 2017. Disponible en https://books.google.co.cr/books/about/Edafolog%C3%ADa_para_la_agricultura_y_el_medioambiente.html?hl=es&id=GazqVtITqLUC&redir_esc=y

Radulovich, R. 2009. Método gravimétrico para determinar in situ la humedad volumétrica del suelo. *Agronomía costarricense* 33(1):121-124.

Sakin, E. 2012. Organic carbon organic matter and bulk density relationships in arid-semi arid soils in Southeast Anatolia region. *African Journal of Biotechnology* 11(6):1373-1377.

Sequeira, CH; Wills, SA; Seybold, CA; West, LT. 2014. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma* 213(397):64-73.

Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 147 p.

Timm, L; Pires, L; Reichardt, K; Roveratti, R; Oliveira, J; Bacchi, O. 2005. Soil bulk density evaluation by conventional and nuclear methods. *Soil Research* 43(1):97-103.

Uhland, R. 1950. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Proceedings. Soil Science Society of America*, 1949 14:361-366.

Xu, L; He, N; Yu, G. 2016. Methods of evaluating soil bulk density: Impact on estimating large scale soil organic carbon storage. *CATENA* 144 (Supplement C): 94-101.