

UN MÉTODO SIMPLE Y PRÁCTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE

MARÍA DE LOS ÁNGELES AGOSTINI¹; MARÍA GLORIA MONTERUBBIANESI¹; GUILLERMO ALBERTO STUDDERT^{1*}
& SANTIAGO MAURETTE²

Recibido: 24-04-14

Recibido con revisiones: 27-08-14

Aceptado: 15-09-14

RESUMEN

La condición física del suelo es fundamental para definir su calidad/salud y es afectada por el uso. Por ello, es necesario el seguimiento de los cambios en la condición física de los suelos bajo producción, a través de indicadores sensibles y fáciles de determinar. Uno de ellos es la densidad aparente (DA), la cual se relaciona con la funcionalidad del suelo y es sensible a las prácticas de manejo. Los métodos de referencia de determinación de la DA son tediosos y dificultan el monitoreo frecuente. El objetivo de este trabajo fue comparar el método de referencia de determinación de DA (método del cilindro, MC) con un método alternativo (método del muestreador tubular, MM) más sencillo para la obtención de las muestras. La experiencia se realizó en Molisoles del partido de Balcarce, en nueve situaciones de uso de suelo. Se evaluó también el comportamiento de los métodos con operarios con diferente nivel de experiencia en la toma de muestras. La DA obtenida con el MM tuvo correspondencia aceptable a la DA con el MC, ya que la variabilidad de ésta explicó el 93% de la de aquella. Asimismo, la diferencia entre valores promedio de DA obtenidas con ambos métodos fue dependiente del nivel de experiencia del operario ($p < 0,05$), siendo mayor esta diferencia para operarios con baja experiencia. Los resultados de este estudio indican que el MM podría ser utilizado de manera regular para la determinación de la DA en suelos similares a los analizados, con fines agronómicos tales como la comparación de situaciones de manejo o el cálculo de la masa en un determinado espesor de suelo para la realización de balances de nutrientes o de carbono. No obstante, ello es válido si el operario encargado de las determinaciones posee experiencia o recibe suficiente entrenamiento para la realización de muestreos.

Palabras clave. Metodología, porosidad, salud de suelo, seguimiento.

A SIMPLE AND PRACTICAL METHOD FOR BULK DENSITY DETERMINATION

ABSTRACT

Soil physical condition is essential to define soil quality/health and is affected by management. Hence, it is necessary to monitor physical status of soils under cropping through sensitive and simple indicators. One of them is bulk density (DA), which is related to many soil functions and is sensitive to management practices. Reference methods to determine DA are tedious and time consuming and make difficult the frequent DA monitoring. The aim of this work was to compare the reference method to determine DA (cylinder method, MC) with a simpler alternative method (tubular sampler method, MM) which facilitates soil sampling. The experiment was carried out on Mollisols of Balcarce county under nine different soil use situations. We also evaluated method performance when applied by persons with different expertise in soil sampling. Bulk density obtained with MM was acceptably similar to that obtained with MC since variability in DA measured with MM explained 93% of the variability of DA measured with MC. On the other hand, the analysis of the mean of the differences of DA between methods showed a significant effect ($p < 0.05$) of the level of experience of the operator, being higher when the operator had low expertise. Our results indicate that MM could be used regularly to measure DA in soils similar to those used in this study and to compare management situations and/or to calculate carbon or nutrient stock seeking for balances. However, the reliability of the measurements done with MM depends on the expertise or the training received by the person that apply it.

Key words. Methodology, porosity, soil health, survey.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias - U.N.M.dP., Unidad Integrada Balcarce, Argentina. ² Asesor Privado.

* Autor de contacto: studdert.guillermo@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

La agricultura moderna puede ser asociada a un deterioro de las propiedades físicas del suelo debido a la utilización de maquinaria cada vez más pesada y a la alteración de la estructura (Hamza & Anderson, 2005). Esto incide sobre muchas de las funciones del suelo en el agroecosistema relacionadas con sus propiedades físicas (e.g. dinámica del agua y del aire). La condición física del suelo tiene, por lo tanto, incidencia sobre procesos edáficos químicos y biológicos, y es fundamental para la definición de la calidad del suelo (Dexter, 2004). Por ello, es necesario el control y el seguimiento de los cambios en la calidad física de los suelos bajo uso productivo a través de indicadores sensibles y fáciles de determinar con métodos que provean resultados precisos y reproducibles (Doran & Mielke, 1984; Moebius *et al.*, 2007).

La densidad aparente del suelo (DA) se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico (sólidos + poros) (Blake & Hartge, 1986) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo. Las alteraciones de la DA a través del tiempo pueden ser debidas al laboreo, al tránsito de implementos, al pisoteo animal, al crecimiento de las raíces y/o al movimiento de la fauna en su interior. Aumentos en la DA se asocian a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación (Hamza & Anderson, 2005). Tal es así que la DA es uno de los parámetros físicos a determinar para caracterizar el estado de la condición física del suelo (Aparicio & Costa, 2007; Moebius *et al.*, 2007). Asimismo, el valor de DA debe ser conocido para poder transformar las concentraciones de nutrientes, minerales y/o carbono en el suelo para el análisis de sus balances (Taalab *et al.*, 2013), y el cálculo de contenido de agua en volumen.

Los métodos disponibles para la determinación de la DA se pueden clasificar en dos grupos: métodos indirectos basados en emisión de radiaciones de distinto tipo y/o electricidad, y métodos directos basados en la medición de un volumen de suelo y de la masa que contiene. Ambos grupos de metodologías tienen sus limitaciones y problemas como así también diferencias en la accesibilidad para los usuarios (Campbell & Henshall, 1991). En el ámbito agronómico, los primeros son accesibles casi exclusivamente a investigadores y requieren de equipamiento costoso. Los segundos son más universalmente accesibles y difieren en la forma de determinación del volumen de suelo a analizar,

lo que puede hacerlos más o menos exactos, precisos, tediosos y demandantes de tiempo de trabajo (Blake & Hartge, 1986).

El método más comúnmente utilizado para la determinación de DA es el conocido como "método del cilindro" (MC), que consiste en introducir un cilindro metálico en el suelo y luego de enrasarlo una vez extraído, determinar la masa de suelo seco que quedó en su interior (Blake & Hartge, 1986; Campbell & Henshall, 1991). Este método es altamente confiable (Blake & Hartge, 1986), aunque sólo para suelos blandos y cohesivos muestreados con contenido de agua cercano a capacidad de campo, no siendo recomendado para suelos arenosos y pedregosos (Campbell & Henshall, 1991). No obstante, su implementación debe seguir un protocolo operativo algo complejo, una relativamente elevada dedicación de tiempo por muestra a obtener y procesar, y requiere un buen entrenamiento y alta minuciosidad del operario para garantizar la calidad de cada muestra (Doran & Mielke, 1984). Esto hace que el método sea tedioso en general y más aún cuando se necesite hacer determinaciones a distintas profundidades. Por ello, su uso se justifica para ciertas aplicaciones y trabajos específicos, pero es poco "amigable" para uso más generalizado.

Doran y Mielke (1984) propusieron un sistema de muestreo más sencillo y rápido para la determinación de la DA y no hallaron diferencias con el MC. El "método del muestreador tubular" (MM) utiliza un muestreador en forma de tubo que se introduce en el suelo para obtener una muestra cilíndrica que, una vez extraída del mismo, se corta según la medida de la capa de suelo cuya DA se quiera determinar. Así, con el diámetro de la boca del muestreador y la medida del corte se puede calcular el volumen de la muestra y luego determinar la masa de suelo seco comprendida. Este método es mucho más práctico y sencillo y permitiría obtener un número importante de muestras a distintas profundidades en el mismo tiempo que se requeriría para obtener una sola a tales profundidades con el MC (Doran & Mielke, 1984). El uso del MM sería recomendable para las mismas condiciones y con los mismos recaudos que el MC.

Dada la simplicidad y la facilidad de uso, la utilización del MM podría ser factible para el seguimiento de los cambios en la DA debidos a las prácticas de manejo a nivel de lote y/o de ambientes y para contar con la información necesaria para evaluar la dinámica de agua, carbono y/o nutrientes con una base volumétrica (Doran & Mielke,

1984; Campbell & Henshall, 1991). Asimismo, dado que la mecánica de muestreo tanto con MC como con MM implica varios pasos cuya efectividad puede depender de la pericia de quien hace el muestreo, se debería evaluar si la aplicación de los métodos tiene dependencia del operario que interviene. El objetivo del presente trabajo es evaluar el desempeño del MM en comparación con el MC en la capa superficial de Molisoles del Sudeste Bonaerense bajo distintos manejos y con operarios de distinta experiencia en la toma de muestras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron muestras del horizonte superficial (3-8 cm) sobre suelos pertenecientes al orden Molisoles (Paleudoles Petrocálicos y Argiudoles Típicos) del partido de Balcarce. Los muestreos fueron realizados en suelos con contenido hídrico cercano a capacidad de campo, bajo diferentes situaciones de uso (agrícola bajo siembra directa continua y no disturbado, Tabla 1). La extracción de las muestras fue realizada por operarios con diferente nivel de experiencia respecto a la extracción de muestras de suelo, identificados como Experiencia Alta (investigadores con muchos años de experiencia en la toma de muestras de suelo, EA), Experiencia Media (investigadores o auxiliares con pocos años de experiencia en la toma de muestras de suelo, EM) y Experiencia Baja (estudiantes sin experiencia previa en la toma de muestras de suelo, EB). Cada operario tomó cinco muestras en cada situación analizada con cada método de muestreo para la determinación de DA en forma apareada, a una distancia no mayor de 15 cm entre muestras. Los dos métodos utilizados para la determinación de la DA fueron MC (Blake & Hartge, 1986) y MM (Doran & Mielke, 1984). Las situaciones muestreadas fueron nueve (Tabla 1), comprendiendo lotes de producción con distintas historias de uso y manejo y sectores no disturbados.

Método del cilindro (MC)

Para este método se utilizó un muestreador (Eijkelkamp, Holanda) que consta de un cilindro metálico en su extremo inferior en cuyo interior alberga un cilindro removible de 5 cm de altura que encaja a 3 cm de su tope superior. El cilindro interno posee el mismo diámetro interior que la boca del externo (5 cm). El volumen interno del cilindro removible es de 98,2 cm³. Una vez extraído el muestreador del suelo se retiró el cilindro interior y se enrasó la muestra cortando cuidadosamente con un cuchillo el suelo excedente por encima y por debajo. Los cilindros enrasados se llevaron al laboratorio para su secado en estufa a 105 °C por 48 horas y posterior pesado para determinar su masa (Blake & Hartge, 1986).

Método del muestreador (MM)

Se utilizó un muestreador tubular (Fig. 1b) con un diámetro de boca de 4,44 cm y un diámetro interior del resto del tubo de 4,58 cm, construido al efecto. Una vez retirado el muestreador del suelo, la muestra fue colocada en una bandeja (Fig. 1c) para cortarla cuidadosamente con un cuchillo a la profundidad deseada (3 a 8 cm, para hacerla comparable con la extraída con el MC). El volumen de la muestra obtenida fue de 77,4 cm³. La muestra fue llevada al laboratorio para su secado en estufa a 105 °C por 48 horas y posterior pesado para determinar su masa (Doran & Mielke, 1984).

Análisis estadístico

Para evaluar el comportamiento del MM respecto al MC, se utilizaron los procedimientos contenidos en el programa IRENE (ISCI, 2007). Se ajustó un modelo de regresión lineal simple (Montgomery *et al.*, 2006), con la DA determinada con MC (DAc) como variable dependiente y la determinada con MM (DAm), como variable independiente. Se pusieron a prueba las hipótesis de la igualdad de la ordenada al origen a cero

Tabla 1. Características de las situaciones de uso muestreadas.

Table 1. Characteristics of soil use situations sampled.

Situación de uso	Condición		Años bajo SD	Observaciones
	Lote de producción	Suelo no disturbado		
1		X	0	Predominancia de gramíneas, no había sido trabajada por más de veinte años
2	X		4	-
3	X		10	-
4		X	0	Monte de Eucaliptus
5	X		12	-
6	X		11	-
8	X		15	-
9	X		12	Lote con altos niveles de erosión

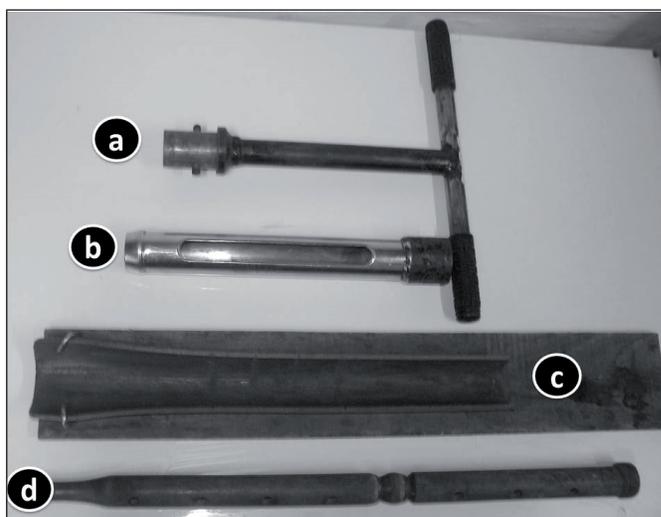


Figura 1. Mango (a), muestreador tubular (b), bandeja para procesamiento de la muestra (c), elemento para empujar la muestra fuera del muestreador (d).

Figure 1. Sampler handle (a), tubular sampler (b), sample processing tray (c), plunger to push the sample out of the sampler (d).

y de la pendiente a uno, por separado y en forma conjunta. Se calcularon también estadísticos basados en la diferencia entre DAC y DAM: 1) error relativo (ER): diferencia entre DAC y DAM relativizada a DAC (%); 2) media del error relativo (MER): promedio de los ER; 3) raíz del cuadrado medio del error (RMSE): es indicador de la dispersión de las diferencias DAC-DAM respecto a 0; 5) raíz del cuadrado medio de la variación (RMSV): es indicador de la dispersión de las diferencias DAC-DAM respecto a su media; 6) sesgo de la determinación (SB): es la diferencia entre el cuadrado de RMSE y el cuadrado de RMSV y da idea de cuán lejos está la media de la diferencia entre DAC y DAM respecto a 0 y de la coincidencia entre DAC y DAM.

Por otro lado, los resultados de DA obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza con el programa R (R Core Team, 2013). Se utilizó un modelo lineal que buscó explicar la DA en función de los distintos métodos, de los distintos niveles de experiencia, su interacción con los métodos, y las distintas situaciones de uso (Tabla 1). A través del mismo modelo se evaluó si la varianza de las determinaciones de DA, es decir la precisión con la que se obtiene la DA, depende de los métodos y de los niveles de experiencia de los operarios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las situaciones evaluadas en esta experiencia (Tabla 1) difirieron estadísticamente entre sí, oscilando los valores de DA entre $0,92 \text{ Mg m}^{-3}$ (Situación 4, Tabla 1) y $1,46 \text{ Mg m}^{-3}$ (Situación 9, Tabla 1). Por otro lado, no se detectó interacción de la situación con la experiencia del operario y el método de muestreo utilizado. Esto indica, que la determinación de DA fue sensible a los cambios asociados a las situaciones, independientemente del método de

muestreo utilizado y la experiencia del operario.

La evaluación estadística del comportamiento de MM respecto a MC (Fig. 2), mostró que la recta de regresión de DAC vs DAM, difirió estadísticamente de la recta 1:1 ($p < 0,05$ para la condición conjunta de pendiente igual a uno y ordenada al origen igual a cero). Las pruebas individuales mostraron, por un lado, que la ordenada al origen no difirió de cero ($p > 0,05$) y, por el otro, que la pendiente no difirió de uno ($p > 0,05$). Más allá del resultado de la prueba de hipótesis conjunta, la DAM se corresponde aceptablemente con la DAC, ya que la variabilidad de aquella explicó el 93% de la de ésta (Fig. 2).

En la Figura 2 puede verse también que, independientemente de la experiencia del operario, MM tendió a subestimar la DA (la mayoría de los puntos están por encima de la recta 1:1). La MER general fue de 1,93% lo que confirma que, en promedio, MM subestimó levemente la DA respecto a MC (Tabla 2).

La distribución de los ER en función de DAC (datos no mostrados) manifestó que las desviaciones relativas de DAM respecto a DAC fueron de escasa importancia. El 85,2% de los ER calculados quedó comprendido dentro del rango $\pm 5\%$ mientras que el 100% quedó dentro del rango $\pm 10\%$. Asimismo, la RSME y la RMSV tuvieron valores de $0,05 \text{ Mg m}^{-3}$ y $0,04 \text{ Mg m}^{-3}$, respectivamente. Por lo tanto, el SB fue igual a 0,001. Todos estos indicadores dan indicios de que la determinación de DA con MM es aceptable a los fines prácticos, dada su muy escasa diferencia con la obtenida con MC.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de DA

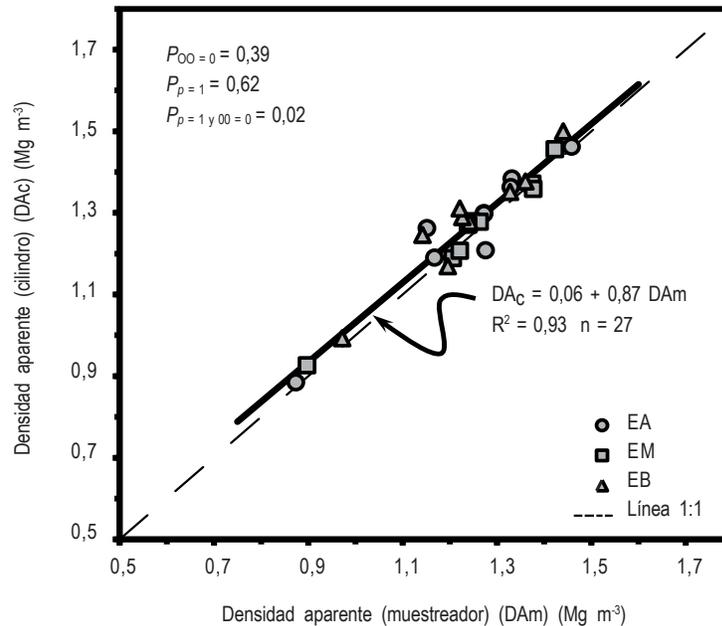


Figura 2. Densidad aparente determinada con el método del cilindro (DAc) vs la determinada con el método del muestreador (DAm) a la profundidad de 3 a 8 cm por operarios con Experiencia Alta (EA), Experiencia Media (EM) y Experiencia Baja (EB).

Figure 2. Bulk density (DA) determined with cylinder method (DAc) vs DA determined with tubular sampler method (DAm) at 3-8 cm depth by high (EA), medium (EM), and low (EB) expertise operators.

Tabla 2. Medias de densidad aparente para cada método de determinación y nivel de experiencia. Los valores entre paréntesis indican error estándar. MM: método del muestreador, MC: método del cilindro, EA: experiencia alta, EM: experiencia media, EB: experiencia baja.

Table 2. Means of bulk density obtained with each method and for each level of expertise. Values between brackets are standard errors. MM: tubular sampler method, MC: cylinder method, EA: high expertise, EM: medium expertise, EB: low expertise.

Método de determinación	Nivel de experiencia			General
	EA	EM	EB	
	Mg m ⁻³			
MM	1,24(0,01)	1,25(0,01)	1,24(0,01)	1,24(0,01)
MC	1,26(0,01)	1,26(0,01)	1,28(0,01)	1,27(0,01)

para cada método de determinación y grado de experiencia del operario. La varianza de la DA dependió del método utilizado y del grado de experiencia, aunque levemente ($p = 0,047$). Esto quiere decir que la precisión con la que se determinó la DA tuvo una dependencia mínima del método y del nivel de experiencia del operario. El análisis de la magnitud de la diferencia de DA promedio entre métodos, mostró una incidencia significativa del nivel de experiencia (interacción método de determinación x nivel de experien-

cia; $p < 0,05$). Para EA, la diferencia entre DAc y DAm fue de $0,024 \text{ Mg m}^{-3}$ ($p = 0,018$), para EM, de $0,010 \text{ Mg m}^{-3}$ ($p = 0,253$) y para EB de $0,042 \text{ Mg m}^{-3}$ ($p < 0,0001$). La mayor diferencia entre DAc y DAm la presentó EB, siendo algo menos que el doble de la obtenida por EA. El valor absoluto de la diferencia lograda por EB podría ser considerado de importancia desde el punto de vista agronómico, dada su implicancia en la comparación de situaciones de manejo o el cálculo de la masa en un determinado espesor de suelo

para la realización de balances de nutrientes o de carbono (Doran & Mielke, 1984; Campbell & Henshall, 1991). No obstante, considerando que con mayor experiencia en la toma de muestras las diferencias entre DAc y DAm podrían ser reducidas, los resultados a obtener con operarios inexpertos podrían ser mejorados procurando un período de entrenamiento previo supervisado antes de dejarlos a cargo de muestreos para determinación de DA.

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta experiencia indican que el MM podría ser utilizado de manera regular para la determinación de la DA como alternativa al MC, en suelos similares a los analizados (Molisoles) con fines agronómicos tales como la comparación de situaciones de manejo o el cálculo de la masa en un determinado espesor de suelo para la realización de balances de nutrientes o de carbono. No obstante, ello sería válido y confiable sólo si el operario encargado de las determinaciones poseyera experiencia en la realización de muestreos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con fondos del proyecto de investigación de la Universidad Nacional de Mar del Plata N° AGR426/13 y el PICT 2012-1092 financiado por FONCYT.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, V & JL Costa. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean Pampas. *Soil Till. Res.* 96:155-165.
- Blake, GR & KH Hartge. 1986. Bulk Density. *In: A Klute (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Pp. 363-375. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA.
- Campbel, DJ & JK Henshall. 1991. Bulk Density. *In: KA Smith & CE Mullins (eds). Soil Analysis.* Pp. 329-366. Marcel Decker Inc., New York, New York, USA.
- Doran, JW & LN Mielke. 1984. A rapid, low cost method for determination of soil bulk density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 717-719.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- ISCI. 2007. IRENE: Integrated Resources for Estimating Numerical Estimates. Research Institute for Industrial Crops, Bologna, Italia. www.sipeaa.it/ASP/ASP2/updateVisitorsIRENE.asp. Último acceso en octubre de 2007.
- Moebius, BN; HM van Es; RR Schindelbeck; OJ Idowu; DJ Clune & JE Thies. 2007. Evaluation of laboratory-measured soil properties as indicators of soil physical quality. *Soil Sci.* 172: 895-912.
- Montgomery, DC; EA Peck & G Vining. 2006. Introducción al análisis de regresión lineal. 3a. reimpresión. Ed. Continental. México DF, México. 588 p.
- R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.(octubre, 2013).
- Taalab, KP; R Corstanje; R Creamer & MJ Whelan. 2013. Modelling soil bulk density at the landscape scale and its contributions to C stock uncertainty. *Biogeosci.* 10: 4691-4704.