



<https://eqrcode.co/a/G7EVRi>

RIEGO Y DRENAJE

ARTÍCULO ORIGINAL

Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos

Variation of Bulk Density for different water contents in Cuban soils

Dr.C. Greco Cid-Lazo¹, Dr.C. Teresa López-Seijas, Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Dr.C. Felicita González-Robaina
Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. Uno de los factores que modifica sustancialmente el valor de la densidad aparente es el contenido de agua presente en el suelo al momento de la toma de muestra para su determinación, debido a los cambios en el diámetro equivalente de los poros. Esta medida permite conocer la facilidad de penetración de las raíces al suelo, la porosidad total del suelo, estimar la masa de la capa arable y calcular las láminas de agua para el riego. El valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación o reducción del espacio poroso, y por ende, de la aireación del suelo; resultando ser un buen indicador de la calidad del suelo. En el presente trabajo se exponen las transformaciones que sufre la densidad aparente del suelo ante los cambios del contenido de agua en la matriz del suelo, de acuerdo a la calidad de la arcilla predominante de algunos suelos cubanos. Las relaciones funcionales encontradas demostraron que los Suelos de los Agrupamientos: Ferralíticos, Vertisuelos y Pardos Sialíticos, según la 'Clasificación vigente en Cuba, sufren cambios notables de la Densidad Aparente ante cambios de humedad, no así en suelos del Agrupamiento Arenosos. El objetivo del presente trabajo consistió en brindar una herramienta para paliar los inconvenientes de las modificaciones que sufre la Densidad Aparente con la humedad, según la calidad de la arcilla presente en su mineralogía. Los resultados mostraron que de los suelos estudiados, los arcillosos, mostraron modificaciones de los valores de Densidad Aparente ante el incremento de humedad, no así los arenosos, lo cual puede evitar errores en el cálculo de las láminas de riego a aplicar.

Palabras clave: contenido de humedad del suelo, variación espacio poroso, calidad de arcilla.

ABSTRACT. One of the factors that substantially modifies the value of the apparent density is the content of water present in the soil at the time of taking the sample for its determination, due to changes in the equivalent diameter of the pores. This measurement allows knowing the ease of penetration of the roots into the soil, the total porosity of the soil, estimating the mass of the topsoil and calculating the sheets of water for irrigation. The value of apparent density is a good index of the degree of compaction or reduction of the pore space, and therefore, of the soil aeration; proving to be a good indicator of soil quality. In the present work the transformations that the apparent density of the soil undergoes in the face of changes in the water content in the soil matrix are exposed, according to the quality of the predominant clay of some Cuban soils. The functional relationships found showed that the Soils of the Groupings: Ferralitic, Vertisuelo and Brown Sialitic, according to the current Classification in Cuba, undergo notable changes in Apparent Density in the event of humidity changes, not so in soils of the Sandy Group. The objective of this work was to provide a tool to alleviate the inconveniences of the modifications suffered by the Apparent Density with humidity, according to the quality of the clay present in its mineralogy. The results showed that of the studied soils, the clayey ones, showed modifications of the values of Apparent Density due to the increase of humidity, not so the sandy ones, which can avoid errors in the calculation of the irrigation sheets to be applied.

Keywords: Soil Moisture Content, Pore Space Variation, Clay Quality.

INTRODUCCIÓN

La densidad aparente es una de las propiedades físicas del suelo más importante, no solo porque a partir de ella se pueden determinar otras propiedades, si no por los cambios a la que es sometida constantemente, ya sea por el asentamiento que sufre

¹ Autor para correspondencia: Greco Cid-Lazo, e-mail: greco.cid@boyeros.iagric.cu

el suelo después de ser removido, ya sea por la compactación que ocurre en el suelo debido a los cambios que experimenta la porosidad antes fuerzas externas como puede ser el peso ejercido por los implementos que se utilizan sobre el mismo en las labores agrotécnicas, o el peso ejercido por las láminas de riego aplicadas.

Otro de los factores que modifica sustancialmente el valor de la densidad aparente es el contenido de agua presente en el suelo, debido fundamentalmente a los cambios en el diámetro equivalente de los poros (Gardner, 1988).

Esta medida permite ver la facilidad de penetración de las raíces al suelo, permite la predicción de la transmisión de agua, la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y, consecuentemente, calcular las láminas de agua para el riego. Además, permite calcular la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas, y estimar la masa de la capa arable.

En un mismo suelo, el valor de densidad aparente es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad, es decir, la reducción del espacio poroso, llamado también espacio poroso no capilar, responsable del drenaje rápido del exceso de agua y, por ende, de la aireación del suelo; resultando ser la densidad aparente, un buen indicador de la calidad del suelo (Yule, 1984).

En Cuba, hasta hace relativamente poco tiempo, la Densidad Aparente de los suelos se mostraba como un valor único para cada suelo, cuestión esta que provocaba que se cometieran muchos errores a la hora de calcular las láminas de riego a aplicar, razón por la que un grupo de investigadores estudiaron las modificaciones que sufre la densidad aparente ante los cambios de humedad que se manifiesta en el suelo al momento de tomar las muestras en un gran número de los suelos de Cuba en los que se aplica el regadío.

Los suelos estudiados pertenecen a los agrupamientos: Vertisuelos, Ferralíticos, Pardos Sialíticos y Arenosos (Hernández *et al.*, 2015).

La razón por la que se escogieron estos suelos estuvo dada por la calidad de las arcillas predominantes en los mismos, de forma tal que la experimentación abarcara comportamientos extremos de la densidad aparente ante los contenidos de agua presente en la matriz de los suelos.

Por esa razón aparecen suelos con arcillas deformables como los Vertisoles donde aparece una porosidad complementaria a consecuencia de las grietas de encogimiento y suelos bastante inertes como los Arenosos donde los cambios de humedad no se tradujeron en la aparición de espacios porosos como consecuencia del encogimiento de los suelos.

El presente trabajo tiene el propósito de brindar a los agricultores una herramienta para paliar los inconvenientes que trae consigo las modificaciones que sufre la Densidad Aparente ante los cambios en los contenidos de agua en la matriz del suelo de algunos suelos cubanos, según la calidad de la arcilla presente en su mineralogía, para evitar errores en el cálculo de las láminas de riego a aplicar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Utilidad de la Densidad Aparente

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el cálculo de la Densidad Aparente resulta el volumen de la mues-

tra, el cual debe ser muy poco alterado al momento de tomar la misma en el campo y el contenido de agua presente, lo que trae consigo errores en los cálculos de las láminas de riego.

Los usos más comunes de la densidad aparente del suelo son los siguientes:

- a) Transforma los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y consecuentemente calcula la lámina de agua en el suelo;
- b) Estima el grado de compactación del suelo por medio de la porosidad;
- c) Estima la masa de la capa arable (hectárea surco).

Cuando un suelo permanece tiempo sin que se realicen actividades en él, el mismo tiende a asentarse, lo que se traduce en muchas ocasiones en compactarse, es decir en reducir los poros mayores y prevalecer la microporosidad, lo cual trae como consecuencia un aumento de la densidad aparente de los suelos, con las implicaciones que esto acarrea en los cálculos donde se utiliza esta propiedad.

En agricultura de regadío lo que se sugiere es que la determinación inicial de la Densidad Aparente siempre se realice después que ha sido preparado el suelo para la siembra. Transcurrido un tiempo y después de haber realizado algunas actividades agrotécnicas y de haber aplicado algunas láminas de riego, el suelo se ha asentado y por ende se ha modificado su densidad aparente debido fundamentalmente a que muchos de los agregados de suelo han desaparecidos y a que se ha modificado la calidad de la porosidad general del suelo, prevaleciendo la microporosidad.

Por ello se recomienda realizar estudios en parcelas experimentales, por ejemplo, en las que se siembren hortalizas con diferentes ciclos en las que se realice riego con frecuencia y se calcule aproximadamente las modificaciones que va experimentando la densidad aparente con el tiempo.

En dicho trabajo se estudiaron, para diferentes tipos de suelos cubanos, según la calidad de la arcilla presente en su mineralogía, los cambios que experimenta la densidad aparente, respecto a los contenidos de agua presente en la matriz de los suelos a la hora de tomar las muestras para determinar la Densidad Aparente en el campo.

Los datos que se utilizaron en este trabajo fueron el resultado de investigaciones realizadas por más de 30 años por el laboratorio de estudios de Agua-Suelo del antiguo Instituto de Investigaciones de Riego y Drenaje, actual Instituto de Investigaciones Ingeniería agrícola (IAgric).

El aspecto relacionado con las condiciones presentes en el lugar donde se realizará el muestreo, es de una gran importancia porque esta propiedad física del suelo, es una de las que más modificación sufre, es decir, su variabilidad espacial y temporal en el suelo es considerable, por lo que resulta de gran utilidad recurrir a procedimientos en su determinación que minimicen al máximo los errores sistémicos durante la toma de muestras.

Bases de Datos

La base de datos fue creada por Cid *et al.* (2012), y para este estudio se obtuvieron datos de 180 subtipos de suelo (más

de 700 puntos de muestreo) pertenecientes a 4 agrupamientos, según la última clasificación de suelos vigente en Cuba (Hernández *et al.*, 2015). Los suelos estudiados pertenecen a los agrupamientos: Vertisuelos, Ferralíticos, Pardos Sialíticos, y Arenosos de esta última clasificación mencionada.

Las propiedades físicas consideradas y los métodos empleados para su determinación aparecen en la Tabla 1.

Procesamiento de los datos

La capa seleccionada para realizar los estudios de cada perfil de suelo fue de 0 hasta 0,5 m, teniendo en cuenta la profundidad que alcanzan las raíces de la mayoría de los cultivos de importancia económica bajo regadío en Cuba (Cid *et al.*, 2018).

Se organizaron los datos de cada perfil de suelo evaluado tomando los datos de Densidad Aparente y el valor de humedad correspondiente al momento de la toma de la muestra con anillo.

TABLA 1. Propiedades físicas estudiadas y métodos utilizados

PROPIEDADES	MÉTODO DE DETERMINACIÓN
Densidad Aparente	Método del anillo (NC ISO 11272, 2003)
Humedad del suelo	Gravimétrico (NR AG- 710, 1982)

Para la determinación de la humedad del suelo se determinó por el método gravimétrico NR AG- 710 (1982), mientras que la Densidad Aparente se determinó por el método sugerido por Kopecky (1914), que consiste en tomar muestras aparentemente no alteradas con ayuda de un cilindro biselado en el extremo que se introduce en el suelo (NC ISO 11272, 2003). La mayoría de las mediciones se hicieron con el suelo preparado para la siembra.

La barrena utilizada fue de la marca EIJKELKAMP, Agri-search Equipment holandesa denominada: Sample ring kit for all soils. Esta barrena utiliza anillos de acero de 100 cm³ de volumen (Eijkelkamp, 1999).

Los valores intermedios se ajustaron según un análisis de regresión logarítmica realizados entre los valores de humedad gravimétrica presentes y la densidad aparente del suelo en ese momento, calculados según la expresión (Cid *et al.*, 2012):

$$D_a = M_s / V_t \text{ Masa Volumétrica Aparente de Suelo (g·cm}^{-3}\text{)} \quad (1)$$

donde:

D_a – densidad aparente (g·cm⁻³);

M_s - Masa de sólidos;

V_t - Volumen total.

La calidad de las regresiones se analizó a partir del estadígrafo *Coefficiente de Determinación, R²*.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

La base de datos utilizada en esta investigación data de los años 80 del pasado siglo y se ha ido enriqueciendo en los últimos años con las tesis de Doctorado, Maestría, y Especialidad de investigadores, así como, con los Trabajos de Diploma de estudiantes de las Universidad Agraria de La Habana (UNAH) y la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE) y de los trabajos de servicios a la producción que presta el IAgri a entidades de la Agricultura cubana.

Esta base de datos se creó inicialmente como parte de los trabajos de confección del Mapa de Suelos de Cuba a escala 1:25 000 (CNSF, 1983) y al establecimiento del Método del Pronóstico de Riego para la elección del "Momento del riego de los cultivos en Cuba" (NR AG- 710, 1982; Cid *et al.*, 2012).

Los suelos estudiados pertenecen a los agrupamientos: Vertisuelos, Ferralíticos, Pardos Sialíticos y Arenosos (Hernández *et al.*, 2015).

En la Figura 1 aparecen los resultados obtenidos de la densidad aparente para diferentes contenidos de humedad en el suelo al momento de su determinación en los suelos del Agrupamiento Vertisuelos.

En Cuba, alrededor del 17% de la superficie agrícola cultivable, descansa en suelos Vérticos según Cid (1992); en los que

se cultiva fundamentalmente la caña de azúcar, arroz, pastos y forrajes (Paneque, 1984).

Gran parte de ellos se encuentran en áreas donde la disponibilidad de agua y el relieve, han permitido el desarrollo del riego por superficie y grandes normas de riego.

Estos suelos están ubicados en diferentes elementos del relieve, tanto en condiciones hidromórficas como automórficas; comprenden principalmente las llanuras litorales u fluviales.

En el presente trabajo la mayoría de los perfiles se estudiaron al norte de la región central (Villa Clara, y Camagüey) y en el Valle del Cauto en la región oriental.

La formación de los Vertisuelos está relacionada con un intenso arcillamiento del perfil en un medio hidromórfico antiguo o semihidromórfico.

Una de las características comunes del material originario es una composición que incluye la Smectita en su mineralogía (Ahmad y Jones, 1969a).

Sobre este espesor arcilloso se presenta una tendencia al desarrollo de una estructura de bloques prismáticos grandes o medianos con caras de deslizamiento (Slikensides), que se manifiesta claramente en la época de sequía, conjuntamente con el agrietamiento fuerte del suelo.

La capacidad de intercambio de cationes de los Vertisuelos es muy alta en comparación con otros suelos minerales y es fuertemente dependiente del pH. Esto se debe al alto contenido de arcilla del tipo Smectita con alta carga permanente. Los cationes intercambiables dominantes son el Ca y el Mg, y la importancia de uno con respecto al otro está relacionada con el origen del suelo (Ahmad, 1983).

Los Vertisuelos tienen textura arcillosa, con contenidos de arcillas que están en el rango de 35 y 90% de la fracción

mineral; la arcilla fina puede constituir alrededor del 80% de la fracción arcillosa. Por tanto, los Vertisuelos más típicos con

altos contenidos totales de arcilla y altos contenidos de arcilla fina son suelos de textura extremadamente fina.

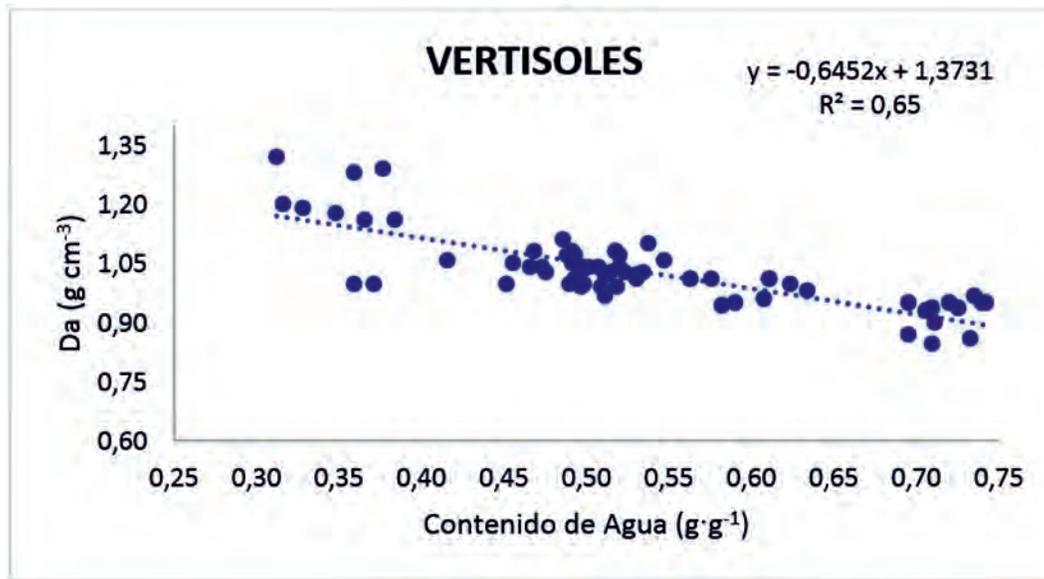


FIGURA 1. Resultados de la variación de la Densidad Aparente para diferentes Contenidos de Agua en el agrupamiento Vertisuelos.

Las características de este mineral le permiten tener la peculiaridad de que al ceder o absorber agua ocurra una modificación en el volumen aparente de los mismos, que se traduce en una reorganización del material según Tessier (1984), producto de la ocurrencia de los denominados fenómenos de contracción-dilatación.

De estos resultados se desprende la necesidad de conocer, en el rango del agua disponible para las plantas, las modificaciones que sufre el volumen de estos suelos con los cambios de humedad, y por consiguiente la densidad aparente, que permitan cálculos más precisos de las láminas de riego a aplicar.

Como se observa en la Figura 1 el diapasón de valores de contenido de agua en los suelos estudiados fue desde 0,30 g·g⁻¹ (gramos de agua por gramos de suelo) a 0,75 g·g⁻¹ en dependencia del contenido de arcilla en la fracción mineral del suelo, que puede variar de 35 a 90%, mientras que la densidad Aparente fluctuó desde 1,0 y 1,15 g·cm⁻³.

En la mayor parte de los suelos estudiados el contenido de agua que estaba presente en el mismo se encontraba en el rango entre los 0,45 y 0,55 g·g⁻¹, correspondiendo esta humedad al Límite Superior del agua Disponible de gran parte de los Vertisuelos de Cuba, reportados por (Cid *et al.*, 2012).

La razón de este comportamiento se debe fundamentalmente a los diferentes porcentos de arcilla encontrados en la granulometría de los suelos estudiados, la cual está estrechamente asociado al lugar, dentro del paisaje, donde se originaron estos suelos, que fueron desde litorales hasta grandes valles.

En la Figura 2 aparecen los resultados correspondientes a los Suelos del Agrupamiento Ferralíticos. En los suelos de este agrupamiento es común el predominio de los minerales de red cristalina tipo 1:1 (fundamentalmente la Caolinita y Metahalloisita).

Los suelos Ferralíticos sustentados sobre rocas calizas miocénicas se distribuyen en diferentes provincias del país. Siendo la Llanura Habana-Matanzas y Ciego de Ávila los lugares con mayores extensiones.

En las arenas predominan el cuarzo y los feldespatos, estos últimos en profundidad y en la arcilla la gibsita, por lo menos en el primer metro de espesor y la caolinita en la capa inferior (Obregón *et al.*, 1985).

En los resultados la tendencia obtenida es muy similar a la encontrada en los Vertisuelos a pesar que la arcilla predominante en estos suelos es del tipo 1:1 donde prevalece la arcilla Caolinita, donde los fenómenos de contracción-dilatación no se manifiestan en la misma dimensión que en los Vertisuelos, por no presentar este tipo de mineral arcilloso con características deformables.

Sin embargo, como se observa claramente en los resultados, es imprescindible considerar la humedad presente en el suelo al momento de tomar muestras para el cálculo de la Densidad Aparente, no porque al secarse el suelo aparezca una nueva porosidad a consecuencia de la fisuración del suelo, sino porque comienza a manifestarse un cambio en la calidad de la porosidad, a favor de la macroporosidad, donde los flujos de aire y agua se incrementan.

En la Figura 2 aparecen los valores de contenido de agua presentes al momento de la toma de las muestras de Densidad Aparente. Como se observa, los valores de contenido de agua de las muestras abarcan un amplio rango lo cual esta en correspondencia con la cantidad y calidad de la arcilla presente en los suelos estudiados.

Los contenidos de agua fueron desde 0,17 hasta 0,38 g·g⁻¹, mientras que los valores de Densidad Aparente hallados estuvieron entre 1,0 y 1,65 g·cm⁻³.

Los valores de humedad que caracterizan dicho intervalo se presentan solo en periodos de prolongada sequía. En estas condiciones

la humedad del suelo se pierde exclusivamente por transpiración, quedando prácticamente excluida la evaporación. Sin embargo, los

Vertisuelos se caracterizan por el cambio gradual de la humedad del suelo a medida que se incrementan los valores de tensión.

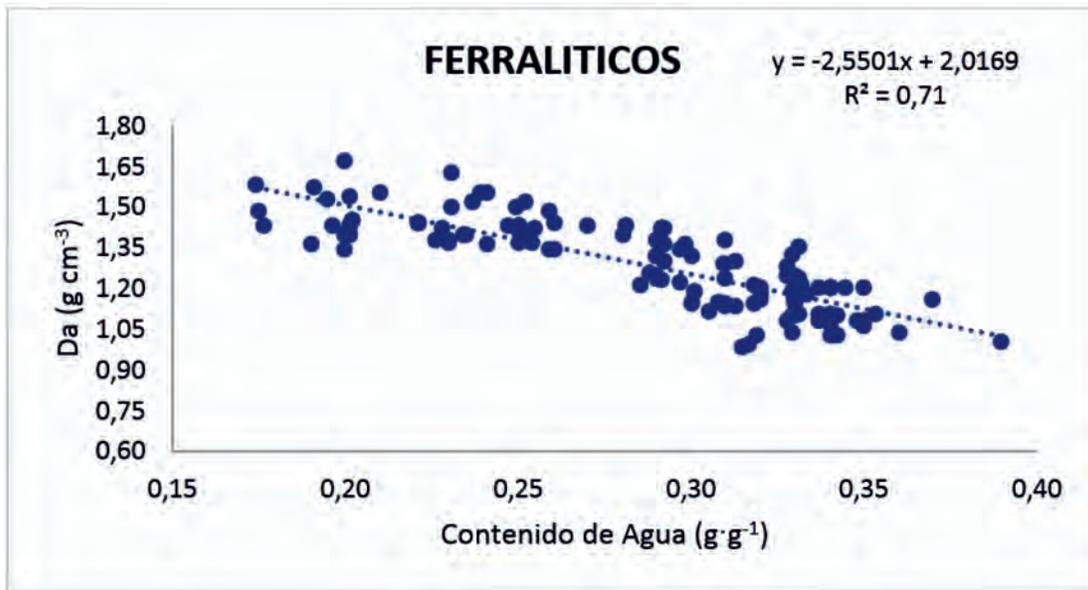


FIGURA 2. Resultados de la variación de la Densidad Aparente para diferentes Contenidos de Agua en Suelos Ferralíticos.

Las consecuencias prácticas de este fenómeno se manifiestan en un resecaimiento intenso acompañado del aumento significativo de la compactación del suelo cuando la sequía se prolonga, mientras que en los Vertisuelos lo que ocurre es la fisuración del suelo en un primer momento seguido de un posterior agrietamiento del suelo.

En ambos casos lo que ha ocurrido es un aumento notable de la densidad aparente. En un caso debido a una modificación en el calibre de la porosidad y en otro a la aparición de una nueva porosidad a consecuencia de los fenómenos de contracción-dilatación.

En la Figura 3 aparecen los resultados obtenidos en los suelos del Agrupamiento Pardos. Este agrupamiento es uno de los más extendidos en Cuba distribuyéndose a lo largo y ancho del país, asociándose principalmente a formaciones geológicas

del Paleógeno y del Cretáceo. Se destacan por su composición mineralógica variada, la cual está relacionada con el tipo de roca madre, que puede ser una roca básica o una roca calcárea. En este grupo de suelos se distinguen dos diferentes tipos de perfiles de suelo: los que presentan muchos carbonatos y los no carbonatados.

En la parte arcillosa de estos suelos abundan los minerales arcillosos del grupo de la montmorillonita, aunque no se excluye la presencia de la vermiculita, la cual, en su comportamiento físico, es muy similar a la montmorillonita (Cid, 1992).

Estos suelos presentan una capacidad de cambio de bases relativamente grande, tanto en los no carbonatados como los carbonatados y como ya se mencionó, es ampliamente dominante en la arcilla, la montmorillonita.

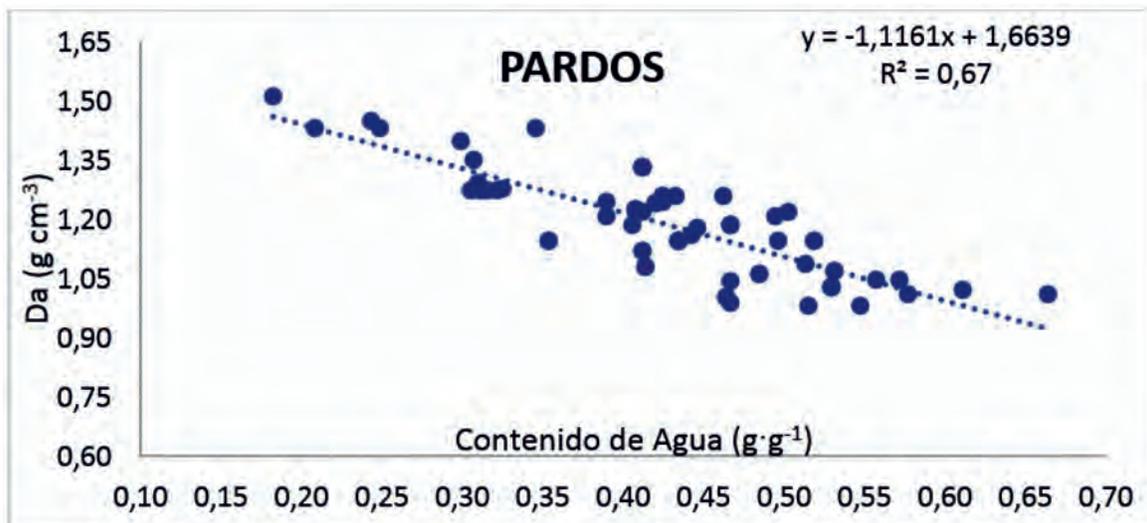


FIGURA 3. Resultados de la variación de la Densidad Aparente para diferentes Contenidos de Agua en Suelos Pardos Sialíticos.

El material basal de estos suelos contiene aproximadamente 50% de Carbonato de Calcio por lo que comúnmente no se hinchan en estado húmedo y tampoco se agrietan al secarse. No obstante, a pesar de estar saturados por calcio, los fenómenos de contracción-dilatación se manifiestan en alguna medida en los valores extremos de contenidos de agua en la matriz del suelo.

Cuando el contenido de agua está cercano a la mitad de la fracción de agotamiento de estos suelos, o lo que es lo mismo al 85 % de la Capacidad de Campo que es el Límite Productivo considerado en Cuba por los regadores o el momento para aplicar el riego, ($0,36 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$), la aireación y el drenaje interno de estos suelos, según Cid *et al.* (2018) es muy bueno y puede llegar a ser excelente.

Aunque el espectro de valores de contenido de agua encontrados fue bastante amplio, la mayoría de ellos se encontraron fundamentalmente entre $0,38$ y $0,58 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ mientras que la densidad aparente fluctuó entre $1,41$ y $1,01 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

En la Figura 4 aparecen los resultados obtenidos para el Agrupamiento de los suelos Arenosos. En muchos de estos suelos, por debajo de la capa superficial, la mineralogía general del suelo casi consiste de cuarzo puro.

La mayoría de los suelos estudiados de este agrupamiento fueron suelos desarrollados de arrastre de regiones silíceas por lo que presentaban a partir de los 30 o 40 cm abundantes perdigones y otras concreciones de material ferromagnesiano.

El Aluminio y el hierro se precipitan en forma de óxidos hidratados. Una parte del precipitado se convierte en perdigones y la formación de los mismos está controlada por las irregularidades de la evaporación.

En la mayoría de los casos estudiados se observa bien que la mayor cantidad de los perdigones coincide con la capa de transición, entre el horizonte de textura más ligera que se encuentra por encima y la capa donde aparecen gran cantidad de concreciones como los estudiados por Castellanos *et al.* (1991) en suelos similares en la Provincia de Pinar del Río.

Con la excepción de algunos de los suelos estudiados, la mayoría son altamente cuarcíticos y presentan altos contenidos de sílice.

También se encontraron suelos con cantidades apreciables de material edáfico denominado por (Bennett y Allison, 1966) como Mocarrero, que es un material caracterizado por presentar una abundancia de perdigones y/o formación de capas de roca de hierro que llegan a formar verdaderas corazas.

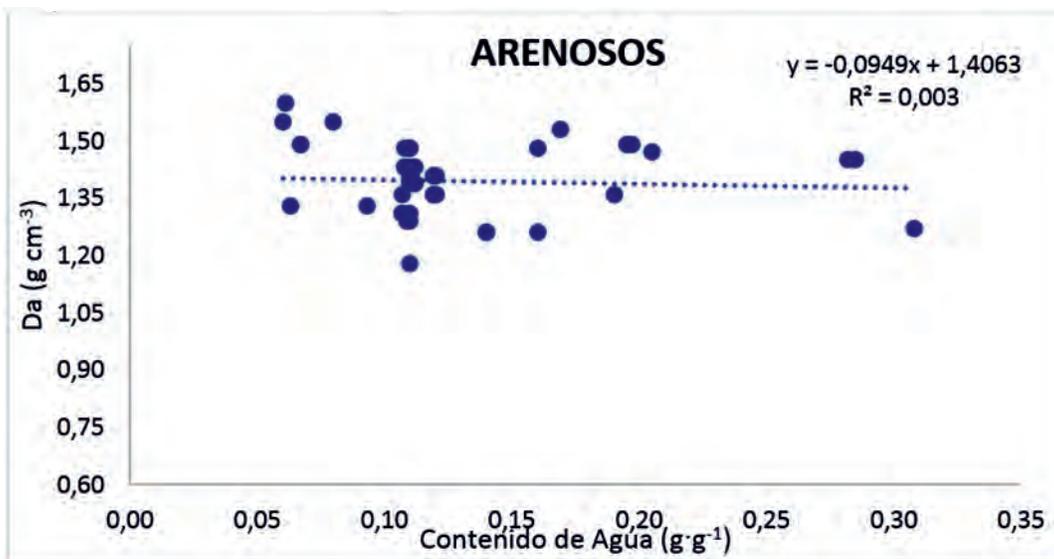


FIGURA 4. Resultados de la variación de la Densidad Aparente para diferentes Contenidos de Agua en Suelos Arenosos

En algunos de los suelos arenosos estudiados, su consistencia es suelta y su subsuelo es friable por lo que son suelos fáciles de trabajar, incluso después de eventos lluviosos significativos.

La cantidad de agua que pueden almacenar estos suelos es mucho más pequeña que la que almacenan los suelos arcillosos. Estos suelos arenosos almacenan variadas cantidades de agua en el perfil y la parte utilizable para las plantas, varía también entre límites amplios.

En la Figura 4 aparecen los resultados de la Densidad Aparente para los diferentes contenidos de agua presentes en el suelo, como se observa la relación entre ambas propiedades no manifiestan ninguna tendencia. Resultados similares fueron obtenidos por Castellanos *et al.* (1991).

Aunque la pendiente de la función es negativa, al igual que los suelos anteriores, la misma es muy pequeña, razón por la que cambios considerables en los contenidos de agua, no se traducen en cambios notables en la Densidad Aparente, lo que se refleja en el Coeficiente de Determinación R^2 que es extremadamente bajo ($R^2= 0,003$).

Esto se debe fundamentalmente a la ausencia de minerales arcillosos en la fase sólida del suelo, predominando, como se mencionó, el cuarzo, que es un material inerte y que no manifiesta modificaciones apreciables en el volumen de los sólidos al ceder agua (Castellanos *et al.*, 1991).

En la figura se puede observar que los valores de contenido de agua fluctuaron entre $0,10$ y $0,15 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$, mientras la Densidad Aparente abarcó valores que van desde $1,25$ hasta $1,60 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

CONCLUSIONES

- Los suelos estudiados manifestaron modificaciones de los valores de Densidad Aparente ante el incremento de humedad, siendo estos más pronunciados en los Agrupamientos: Vertisuelos, Pardos Sialíticos y Ferrálticos y mucho menos para el caso de los suelos Arenosos.
- En los Vertisuelos los contenidos de agua fluctuaron desde 0,30 g·g⁻¹ a 0,75 g·g⁻¹ mientras los de densidad Aparente fueron desde 1,0 y 1,15 g·cm⁻³.
- Los suelos Ferrálticos se caracterizaron porque los valores de humedad fueron desde 0,17 hasta 0,38 g·g⁻¹, mientras que los valores de Densidad Aparente hallados estuvieron entre 1,0 y 1,65 g·cm⁻³.
- Los suelos del Agrupamiento Pardos, los fenómenos de contracción-dilatación se manifiestan en alguna medida en los valores extremos de contenidos de agua en la matriz del suelo y se encontraron fundamentalmente entre 0,38 y 0,58 g·g⁻¹ mientras que la densidad aparente fluctuó entre 1,41 y 1,01 g·cm⁻³.
- En el Agrupamiento de los suelos Arenosos los resultados mostraron que los valores de contenido de agua fluctuaron entre 0,10 y 0,15 g·g⁻¹, mientras la Densidad Aparente abarco valores que van desde 1,25 hasta 1,60 g·cm⁻³. Los resultados no manifiestan ninguna tendencia, razón por la que cambios considerables en los contenidos de agua, no se tradujeron en cambios notables en la Densidad Aparente, lo que se refleja en el Coeficiente de Determinación R² que es significativamente bajo (R²= 0,003).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AHMAD, N.: "Vertisols. In pedogenesis and Soil Taxonomy", En: *The Soil Orders*, ser. II, Ed. Editorial Elsevier, Chapter 3 ed., USA, 410 p., 1983.
- BENNETT, H.H.; ALLISON, R.V.: *Los suelos de Cuba y algunos nuevos suelos de Cuba*, Ed. Instituto Cubano del Libro, Edición Revolucionaria ed., La Habana, Cuba, 375 p., 1966.
- CASTELLANOS, A.; CID, G.; MENDEZ, M.A.; CALVO, E.: "Variations of hydric behaviour of a sandy texture soil in western Cuba.", *Ciencias del Suelo, Riego y Mecanización*, 1(1), 1991.
- CID, L.G.: *Efecto de la contracción-dilatación sobre las transferencias de agua y aire en suelos con arcillas dilatables del Valle del Cauto*, [Effect of the Contraction-Expansion over the Water and Air Transference in Grounds with Expandable Clay from Valle del Cauto], Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH), Instituto Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical, Tesis en opción al Grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 118 p., 1992.
- CID, L.G.; HERRERA, P.J.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, B.F.: "Estimation of Water Available for Plants in Cuban Soils as a Function of Prevailing Texture", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(4): 25-32, 2018, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- CID, L.G.; LÓPEZ, S.T.; GONZÁLEZ, B.F.; HERRERA, P.J.; RUIZ, M.E.: "Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- EIJKELKAMP: *Agrisearch Equipment. Catalogue and Parts Lists*, Inst. Agrisearch Equipment, The Netherlands, 341 p., 1999.
- GARDNER, E.A.: "Understanding Soils and Soil Data", En: *Soil Conservation Research Branch*, Ed. Soil Water, Chapter 10, Soil Water ed., Queensland, USA, pp. 153-184, 1988.
- HERNÁNDEZ, J.A.; JIMÉNEZ, P.J.M.; BOSCH, I.D.; CASTRO, N.: *Clasificación de los suelos de Cuba*, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- KOPECKY, J.: "Die physikalische eigenschaften des Bodens", *Intern. Mitteil. fur Bodenkunde*, 4: 138-198, 1914.
- NC ISO 11272: *Calidad del suelo. Determinación de la Densidad Aparente en base al suelo seco*, MINAG, Oficina Nacional de Normalización: máquinas agrícolas y forestales, La Habana, Cuba, Vig. de 2003.
- NR AG- 710: *Pronóstico del momento del Riego. Método Gravimétrico*, MINAG, Oficina Nacional de Normalización: máquinas agrícolas y forestales, La Habana, Cuba, Vig. de 1982.
- OBREGÓN, A.; FUNDORA, A.; GONZÁLEZ, J.E.: *Coloquios y Seminarios. Suelo y Agua*, Ed. Ediciones ORSTOM, La Habana, Cuba, 1985.
- PANEQUE, J.: *Etude des Sols argileux foncés de Cuba. Distribution, caractérisation et genése*, Universidad Ciencia y Tecnica de Languedoc, Tesis Doctor Ing. Agron., Francia, 150 p., 1984.
- TESSIER, D.: *Etude experimentale de l'organisation desmaterieaux argileux. Hidratation gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la rehumectation*, Université de Paris VII, Thése, Paris, France, 361 p., 1984.
- YULE, D.F.: "In properties and utilisation of cracking clay soils. Volumetric calculations in cracking clay soils", En: no. ser. No. 5, Ed. Reviews in Rural Science, Eds. J. W. Mcgarity, E. H. Houlton and H. B. So. ed., vol. 18, 87 p., 1984.

Greco Cid-Lazo, Inv. Titular, Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: greco.cid@boyeros.iagric.cu
Teresa López-Seijas, Inv. Titular, Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: greco.cid@boyeros.iagric.cu
Julián Herrera-Puebla, Inv. Titular, Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: julian.herrera@boyeros.iagric.cu
Felicita González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: felicita.gonzalez@boyeros.iagric.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor