

**SUELO**

**ARTÍCULO ORIGINAL**

# Propiedades de suelos arenosos de la Mesa de Guanipa bajo manejos convencionales

## *Properties of Sandy Soils in the Mesa of Guanipa under Conventional Management*

Dr.C. Jorge García-Coronado<sup>1</sup>, Dr.C. María E. Ruiz-Pérez<sup>1</sup>, M.Sc. Nilda Castillo<sup>11</sup>, M.Sc. Lázara Rangel-Montes de Oca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>11</sup> Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui, El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.

**RESUMEN.** Los suelos para su uso sustentable, manejo y conservación requieren del entendimiento de procesos y propiedades que gobiernan su funcionalidad y del impacto de perturbaciones debida a causas naturales y antropogénicas. A partir de un diseño sistemático aleatorizado se determina 25 valores actualizados y georeferenciados de la distribución del tamaño de partículas, densidad aparente (Da), contenido de materia orgánica (MO), fósforo, calcio, magnesio, pH y resistencia a la penetración (RP) de suelos arenosos de la Mesa de Guanipa al sur del estado Anzoátegui. A los 20 cm de profundidad se hallan elevados valores de la Da del suelo, en su gran mayoría superiores a los 1,6 g·cm<sup>-3</sup> y un aumento vertiginoso en los valores de la RP a partir de 15 cm, existiendo una significativa correlación entre estas ambas variables (0,57) y con los bajos contenidos de MO medidos, -0,384 y 0,320, respectivamente. Las propiedades físicas muestran dependencia espacial, con ajustes gaussianos y alcances que varían entre 10 a 20 m. El carácter arenoso de conjunto con las condiciones climáticas imperantes de la región y las prácticas de manejo, entre ellas el laboreo continuado con el empleo de la rastra de discos en condiciones no óptimas para la labranza, los han hecho más susceptibles a la degradación y su deterioro físico.

**Palabras clave:** propiedades físicas y químicas, funcionalidad, causas naturales y antropogénicas.

**ABSTRACT.** Soils for their sustainable use, management and conservation require an understanding of the processes and properties that govern their functionality and the impact of disturbances due to natural and anthropogenic causes. Using a randomized systematic design, 25 updated and georeferenced values of the particle size distribution, apparent density (Da), organic matter (OM) content, phosphorus, calcium, magnesium, pH and penetration resistance are determined (RP) of sandy soils of the Mesa de Guanipa in southern Anzoátegui state. At 20 cm of depth there are high values of the soil Da, most of them higher than 1.6 g·cm<sup>-3</sup> and a vertiginous growth in the values of the RP from 15 cm, there being a significant correlation between these both variables (0.57) and with the low contents of measured MO, -0.384 and 0.320, respectively. The physical properties show spatial dependence, with Gaussian adjustments and ranges that vary between 10 and 20 m. The sandy character combined with the prevailing climatic conditions of the region and the management practices, among them the continuous tillage with the use of disc harrow in conditions not optimal for tillage, have made these soils of the Mesa de Guanipa more susceptible to degradation and consequence of the its low soil physical quality.

**Keyword:** physical and chemical properties, functionality, natural and anthropogenic causes.

## INTRODUCCIÓN

La demanda, cada vez mayor, de alimentos para la población ha conducido a la explotación intensiva de los suelos agrícolas; generalmente basada en la mecanización intensiva basada en el uso de la maquinaria agrícola bajo disímiles condiciones de suelo. Tal sobreexplotación genera prácticas inadecuadas que ocasiona condiciones adversas observables como la desagre-

gación de la estructura superficial, inestabilidad y formación de sellos, así como en cambios estructurales en la capa arable, indicados por estados masivos resultantes del proceso de compactación sub-superficial (Bronick y Lal, 2005). El deterioro de los suelos se considera entre los problemas más apremiantes de la crisis alimentaria mundial, éste es mucho más acentuado

y acelerado en regiones tropicales y subtropicales debido a las interacciones de las características de los mismos, el clima y las prácticas inadecuadas de manejo agrícola. (Reinert *et al.*, 2001) señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos en América Latina es, sin dudas, la aplicación de técnicas de labranzas inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y más importante aún, el deterioro del medio ambiente.

Consecuentemente, los suelos para su uso sustentable, manejo y conservación requieren necesariamente del entendimiento de procesos y propiedades que gobiernan su funcionalidad y del conocimiento del impacto de perturbaciones debida a causas naturales y antropogénicas.

En Venezuela se están desarrollando proyectos de gran envergadura tendientes a garantizar la alimentación del pueblo y por ende la soberanía alimentaria. Igualmente se da la tendencia de la degradación de los suelos agrícolas, cuya severidad es debido a un uso excesivo de maquinarias e insumos (fertilizantes y pesticidas), entre otros (Pla, 1993; Mogollón y Comerma, 1994; Rodríguez *et al.*, 1996; Mazzani, 1999; Lozano, 2011). La labranza convencional que se realiza en Venezuela es muy compleja debido a la inexistencia de las condiciones de humedad óptima para realizar la labranza primaria y secundaria, además los tiempos oportunos operacionales son muy cortos, creando cuellos de botellas en el proceso productivo debido al factor lluvia; además, involucra altos costos. La rastra de disco es el apero más común en los campos agrícolas de todo el país, empleada generalmente para la labranza secundaria, debido a las condiciones inadecuadas de friabilidad, el tiempo oportuno de la operación, precio de adquisición, fácil uso y mantenimiento, el fácil y más rápido control de malezas, así como la aplicación de cal (Hossne *et al.*, 2009).

En su porción oriental se distinguen las áreas de la Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui, la cual cuenta un marcado patrón de variabilidad en cuanto a frecuencia y variabilidad de las precipitaciones, un gran acuífero subterráneo y alrededor de 300 mil hectáreas destinadas a labores agropecuarias por Empresas Integrales de Producción Agraria con alto grado de mecanización y en menor medida por productores privados. Dicha mesa presenta suelos de textura muy gruesa con baja capacidad de retención de humedad, susceptibilidad a la compactación, riesgos de erosión por impacto de las gotas de lluvia y escorrentía, que demuestra la gran fragilidad y vulnerabilidad de sus suelos.

El estudio tiene como objetivo evaluar las propiedades físico, químicas y mecánicas de un Entisol de la Mesa de Guanipa sometidos a práctica de manejos convencionales por más de 30 años.

## MÉTODOS

### Área experimental

#### Localización

El área pertenece a la Universidad Politécnica Territorial “José Antonio Anzoátegui” (UPTJAA) ubicado en las coordenadas 8°51'33" LN y 64°12'58" LO. La misma está enmarcada en la zona de influencia de la cuenca del Orinoco, al sur del Estado Anzoátegui, Municipio Simón Rodríguez, en la denominada

Mesa de Guanipa (Figura 3). La Mesa se corresponde a la zona de vida Bosque Seco Tropical según el Sistema de Clasificación de Holdridge (Comerma y Chirinos, 1977).

El suelo del área bajo estudio clasifica en orden Entisol, subgrupo Quarzipsamments (USDA Soil Taxonomy) y Arenosols (World Reference Base), el cual se correlaciona con los Suelos Poco Evolucionados de la Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999).

La Figura 2 representa la componente real y potencial de la evapotranspiración (Eto y Etr) y la precipitación efectiva o útil a partir del balance hídrico en la zona de la Mesa de Guanipa, el cual tiene en cuenta los registros de la Estación climatológica del Servicio de Agrometeorología - INIA, El Tigre, comprendidos entre 1998 y 2014. La precipitación efectiva se corresponde con la que se infiltra en el suelo, sin llegar a perderse por escorrentía o por filtración profunda y permanece a disposición de las raíces de las plantas.

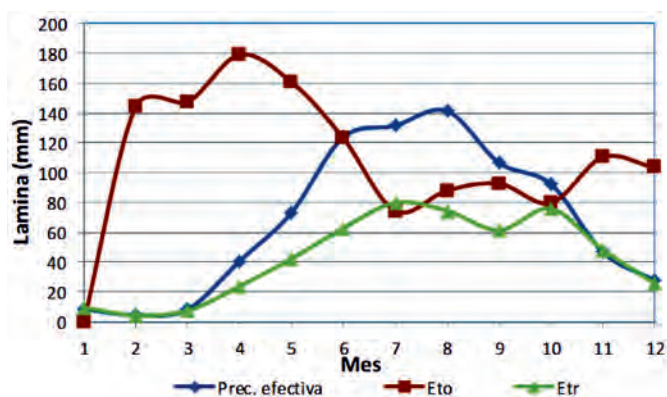


FIGURA 1. Balance hídrico promedio de la zona de la Mesa de Guanipa en el periodo 1998-2014. Adaptado de datos mensuales de la Estación climatológica del Servicio de Agrometeorología - INIA, El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.

La figura permite sintetizar el período histórico de déficit y excesos hídricos manifestados desde noviembre hasta marzo y de abril a octubre, respectivamente. Ello arroja claridad en relación a los escenarios y las complejidades del uso de la maquinaria agrícola y sus consecuencias para los suelos de la región de la Mesa de Guanipa.

Los métodos de labranzas por excelencia utilizados son los establecidos convencionalmente, apoyado en el uso continuado de la maquinaria agrícola, sobretodo la rastra de disco. El laboreo se realiza en cualquier época del año, sequía y lluvia, sin un análisis consensuado que tuviese en cuenta las particularidades del clima y del suelo en cuestión, como por ejemplo la humedad óptima de labranza. Ello es particularmente conducente a procesos erosivos y de degradación de la estructura, tales como compactación del suelo por rodadura y/o formación del piso de arado.

### Diseño experimental

Se utilizó un muestreo aleatorio sistemático que combina las ventajas de una rejilla regular y la aleatorización. Con este fin se superpuso una rejilla regular principal con 36 nodos

(Figura 2), conformada por celdas de 17m de ancho por 18 m de largo. El largo y alto de las celdas satisfacen el propósito de conservar las mismas proporciones relativas a las dimensiones de la parcela (0,8 ha). La localización de los puntos de muestreo es el resultado de seleccionar para cada subconjunto de celdas

que conforma una columna, un valor de la coordenada X fijo para toda esa columna y un valor de Y variable para cada celda de la misma. Tanto el valor de X como los de Y se obtuvieron mediante generación aleatoria de números entre 1 y 50, a partir del esquema de subdivisión secundario.

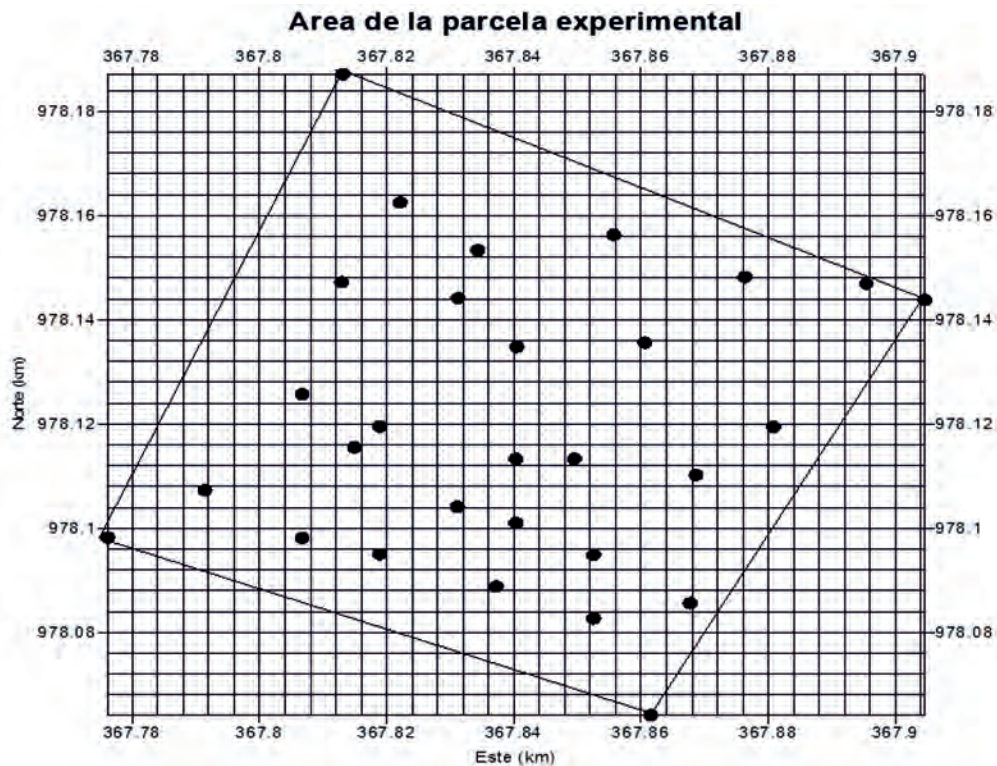


FIGURA 2. Distribución de los 25 puntos de muestreo en coordenadas planas.

### Propiedades medidas y métodos de medición empleados

TABLA 1. Relación de propiedades medidas, simbología, método de determinación y unidades empleadas en su cuantificación en los puntos de muestreo seleccionados

Propiedad	Símbolo	Método	Unidad
Distribución del tamaño de partículas*	DTP	Método del hidrómetro	
Arena, Limo y Arcilla esquema de la USDA (Soil Survey Staff, 1975)	arena, limo y arcilla		%
Humedad	eg	Gravimétrico	g · g <sup>-1</sup>
Materia orgánica*	MO	Walkley and Black (1938)	%
Densidad aparente +	Da	Cilindro	g·cm <sup>-3</sup>
Bases disponibles*	-		mg·kg <sup>-1</sup>
Fosforo Disponible	P	Olsen extraídos con NaHCO <sub>3</sub> 0,5 M pH 8,5; SGCL-IA-001	mg·kg <sup>-1</sup>
Calcio y Magnesio	Ca y Mg	Morgan Modificado extraídos con (CH <sub>3</sub> COONa) 0,125 M a pH 4.2 y Rel. Suelo: Solvente Extrac. 1:2, respectivamente.	Mg·kg <sup>-1</sup>
pH al agua *	pH(H <sub>2</sub> O)	potenciómetro relación suelo: agua 1:2,5SGCL-AI-002	-
Resistencia a la penetración	RP	Penetrometría	MPa

\* realizadas por los laboratorios del INIA, km 5 Carretera El Tigre- Ciudad Bolívar, Anzoátegui, Venezuela. + Se calculó el volumen de cada cilindro empleado, cuyo valor medio fue de 63.75 cm<sup>3</sup>

La resistencia a la penetración fue medida con el auxilio de un penetrómetro dinámico de cono de punta cónica con área de la base  $5,06 \times 10^{-04} \text{ m}^2$ , ángulo del cono de  $60^\circ$ , distancia de caída libre de 0,6 m y masa total y de impacto de 7 y 2,3 kg, respectivamente. Se registraron lecturas del número de golpes a intervalos de 5cm hasta los 30 cm de profundidad, donde las condiciones del suelo así lo permitían. Las lecturas obtenidas fueron traducidas a valores de RP mediante la formulación citada por (Stolf *et al.*, 2005), conforme a (García *et al.*, 2016).

$$RP = \frac{M}{(M + m)} \frac{Mgh}{Ax} + (M + m) \frac{g}{A} \quad (1)$$

donde:

A- área de la base del cono

g- aceleración de la gravedad

h –altura de caída

M-masa de impacto

m-masa del penetrómetro sin considerar M

x-distancia de penetración por golpes o efectiva

Las determinaciones de la Da y de la RP son acompañadas por las determinaciones de la humedad en el momento del muestreo. A partir de los parámetros del semivariograma se implementa la técnica de interpolación Kriging Warrick *et al.* (1986), que constituye la base de los análisis espaciales llevado a cabo en el trabajo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas y químicas

El comportamiento de la composición del tamaño de partículas (Tabla 2) denota un marcado predominio de la fracción arena y muy bajos contenidos de limo y arcilla, lo cual se ajusta a lo reportado para los suelos de la región, caracterizados por poseer en común capas superficiales muy arenosas (Comerma y Chirinos, 1977).

La variabilidad espacial del contenido de arcilla a la profundidad de estudio (20 cm) es relativamente baja debido a que los tipos de suelos presentes en la región no se caracterizan por diferencias apreciables en los valores de esta fracción. Nótese que el coeficiente de variación de la arcilla (no incluido para ganar en brevedad) es inferior al de las otras dos fracciones texturales.

En determinados sitios del área se advierte la existencia de hoyos realizados por la acción biológica, circundados de una deposición de suelos de coloración visiblemente más rojiza que denotan que existen capas de mayores contenidos de arcilla en profundidad (del grupo de la caolinita). Ello coincide con la descripción de horizontes argílicos, con acumulación de arcilla, de la serie de suelos de pertenencia del área experimental y de la región de la Mesa de Guanipa.

TABLA 2. Comportamiento estadístico de las propiedades físicas, químicas y físico-químicas medidas de 0-20 cm.

Propiedad	N	Media	Mín.	Máx.	$\sigma$
Arena (%)	25	91,6	88	94	1,63
Limo (%)	25	6,4	4	10	1,63
Arcilla (%)	25	2,08	2	4	0,4
Da (g.cm <sup>-3</sup> )	25	1,62	1,36	1,84	0,11
$e_{g-Da}$ (x 10 <sup>-2</sup> g.g <sup>-1</sup> )	25	8,68	0,50	14,73	4,23
RP (MPa)	99	3,10	0,14	15,89	3,19
$e_g$ (g.g <sup>-1</sup> )	43	2,82	0,11	33,56	7,00
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	24	17,17	6	58	12
Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	25	56,2	22	128	25,73
Mg (mg.kg <sup>-1</sup> )	25	96,84	48	159	33,05
M.O (%)	25	0,91	0,62	1,15	0,15
pH <sub>(H2O)</sub> (-)	25	5,47	4,8	6,1	0,38

Nota:  $e_g$  es la humedad gravimétrica promedio de muestreo y  $e_{g-Da}$  la relativa a la densidad.

La textura o distribución del tamaño de partículas es una de las propiedades más estable del suelo, por tanto, su comportamiento y variabilidad espacial no pueden ser explicados directamente asociada a las prácticas mecanizadas en la parcela de estudio.

Atendiendo a su valor medio y desviación, los valores de la densidad aparente medidos resultan elevados. Esta tendencia esperada de incremento de los valores de densidad aparente es un rasgo común de los suelos agrícolas por el efecto directo del empleo de la maquinaria. Ello también está estrechamente ligado a los bajos contenidos de materia orgánica, lo cual será discutido más adelante en términos de la correlación entre estas dos variables.

Asimismo, otros estudios en suelos agrícolas de textura arenosa de Venezuela reportan variaciones de la densidad aparente entre los 1,5 y 1,7 g.cm<sup>-3</sup> (Hossne, 2006), con un valor promedio de 1,66 g/cm<sup>3</sup> y un máximo de 1,84 g/cm<sup>3</sup> para humedades gravimétricas entre el 7 y 9%, con un mínimo de 1,39 g/cm<sup>3</sup> para un 3 % de humedad (Hossne *et al.*, 2009).

(Eliasson, 2005), reporta entre los 10 y 20 cm de un suelo de textura areno-limoso un aumento vertiginoso de la Da, tanto con el número de pases de la maquinaria como con el aumento de la presión de inflado de los neumáticos. Con posterioridad a los 20 cm la Da se mantiene relativamente constante o crece de manera discreta.

En el presente estudio, a los 20 cm de profundidad el 60 % de los sitios muestreados sobrepasan los 1,6 g·cm<sup>-3</sup> y el 28% los 1,7 g·cm<sup>-3</sup>. Coincidentemente, estos valores se manejan en la literatura para fijar el valor de densidad crítica de suelos de textura arenosa, el cual condiciona el comportamiento de esta propiedad como un factor limitante para el crecimiento radicular de los cultivos. Este valor crítico está estrechamente relacionado con el contenido de arcilla (Jones, 1983).

(Reinert *et al.*, 2001), refieren para suelos de textura arenosa un valor crítico de densidad de 1,65 mg·m<sup>-3</sup> y Pla (1995) niveles > 1,6 g·cm<sup>-3</sup>, los cuales satisfacen la condición física de la mayoría de los sitios muestreados. Por su parte, (Griffith, 1977) y (Jones, 1983) fijan el valor umbral de densidad aparente de suelos arenosos en 1,7 g·cm<sup>-3</sup>, que también se satisface en varios puntos muestreados, aunque en menor cuantía que los que se manifiesta siguiendo los límites anteriores. Durante el experimento, fue un hecho corroborado durante la fase de muestreo de este estudio el confinamiento de la densidad de raíces de las especies de plantas del área experimental en barbecho, a profundidades alrededor de los 15 cm.

De las propiedades medidas que usualmente evalúan la fertilidad del suelo se advierte baja disponibilidad de calcio (Ca < 50 mg·kg<sup>-1</sup>) en un porcentaje elevado de los puntos medidos, no así en el caso del fósforo (P > 10 mg·kg<sup>-1</sup>) y magnesio (Mg > 40 mg·kg<sup>-1</sup>) para casi la totalidad de los puntos analizados. Al igual que en el caso de la textura, este comportamiento clasifica dentro del rango de valores estipulado para la región (INDER/INIA, 2012).

El bajo valor promedio de la MO (0,91 %) con un máximo de 1,15 % satisface rango de variación típico (0,1 - 1,3 %) reportado para estos suelos (INDER/INIA, 2012) y se asocia con las prácticas de manejos y su influencia en la degradación de sus

contenidos en los suelos de Venezuela (Mogollón y Comerma, 1994; Rodríguez *et al.*, 1996; Mazzani, 1999; Lozano *et al.*, 2002; Lozano, 2011). También del comportamiento del pH se advierten suelos ligeramente menos ácidos con respecto a los valores promedio de pH esperados (4,5 – 5,1), según el informe de (INDER/INIA, 2012).

El análisis geoestadístico reveló dependencia espacial para la Da, el Ca, MO y la arena y semivariogramas ajustados a modelos de tipo gaussiano y exponenciales con alcances que varían entre los 10 y 20 m.

### Propiedades mecánicas

De la RP promedio se denotan que el suelo ofrece una elevada resistencia mecánica para los bajos niveles de humedad de muestreo (Tabla 2). La Figura 2 ilustra las distribuciones en profundidad de los valores promedios de la RP medidos. Los mayores valores de resistencia a la penetración tienen lugar entre los 15 y 25 cm de profundidad, lo cual reafirma las restricciones físicas del suelo para el crecimiento y desarrollo de las raíces en toda el área experimental. En el caso de la penetración por golpes, o sea la distancia efectiva de avance de la punta cónica por golpes, disminuye apreciablemente por debajo de los 10 cm de profundidad a valores promedios del orden o inferiores 0.002 cm en cada golpe de la masa de impacto.

La misma tendencia se refleja en el comportamiento en profundidad de número de golpes (Tabla 3). En no pocos casos, entre 0 y 3cm, el valor del número de golpes es cero. En estos los primeros centímetros del suelo apenas poseen estructura, propiciándose que la punta cónica se hingue varios centímetros de profundidad debido solo al peso del penetrómetro en posición vertical, es decir sin golpe alguno o aporte de energía por caída libre de la masa de impacto.

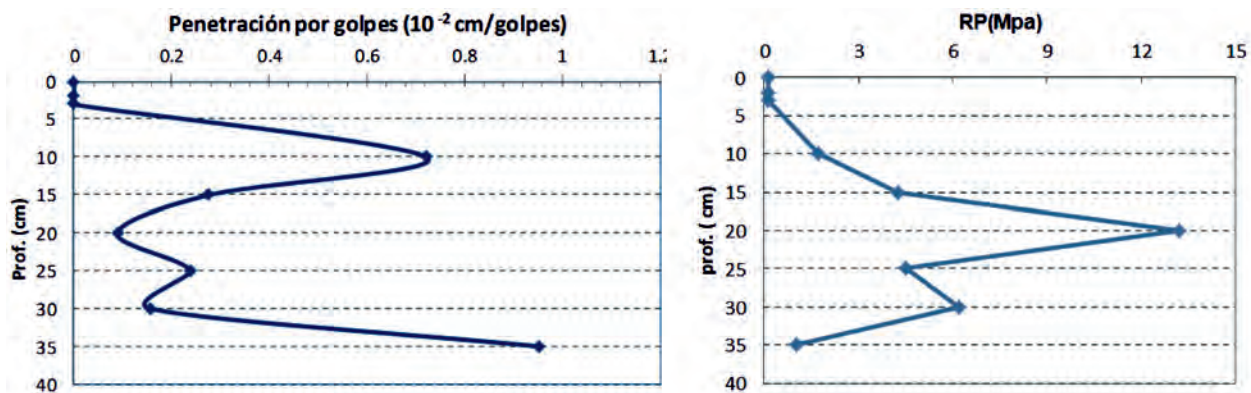


FIGURA 2. Comportamiento en profundidad de los valores promedio de la penetración efectiva y la RP (MPa).

(Nacci y Pla, 1992)1992, igualmente reportan como tendencia que los mayores valores de la RP se localizan entre los 10 y 20 cm de los suelos de Venezuela estudiados, empleando distintos tipos de penetrómetro y variantes de puntas cónicas. Estos autores hallan igual tendencia para la Da y atribuyen el resultado a la presencia de una capa compacta.

Se genera a partir del semivariograma de la RP ajustado a un modelo de tipo gaussiano se obtuvo por kriging el mapa de la Figura 3. En este sentido, igualmente (Mogollón y Comerma,

1994) ajustaron este tipo de modelo a los valores de RP hasta 30 cm de profundidad. También este autor empleo los de tipo de exponencial y gaussiano para las fracciones texturales del suelo en estudio.

Desde el punto de vista de su comportamiento espacial las mayores RP se localizan en la dirección este-oeste del límite norte de área (Figura 3) a profundidades entre los 20 y 30 cm, lo cual está inexorablemente asociado a la maquinaria como tal y a la correspondencia de esta zona con la de viraje en esta

cabecera de la parcela, recayendo el peso del apero sobre el eje del tractor generando en este caso compactación del suelo por rodadura. En el resto de los puntos y a profundidades menores es más difícil de discernir y no se puede ser tan categórico a causa del carácter arenoso, poco estructurado y bien drenado de estos suelos. Aunque desde el punto de vista estadístico existe asociación lineal entre RP y la densidad, la distribución espacial de la RP no está estrechamente asociada a los patrones de altos valores de Da del área de estudio.

**Tabla 3. Comportamiento del número de golpes medidos con el PDC.**

Prof. (cm) n	Media	Mínimo	Máx.	$\sigma$	
0	5	0	0	0	
2	12	0	0	0	
3	25	0	0	0	
10**	25	15.16	3	34	8.52
15**	5	24.36	7	68	15.89
20**	2	91.8	45	163	52.49
25**	17	46	32	60	19.80
30**	1	105.88	56	233	42.90
35	1	21	21	21	-

*Nota: \* representa diferencias estadísticamente significativas para un nivel de confianza del 99,0 %.*

Se genera a partir del semivariograma de la RP ajustado a un modelo de tipo gaussiano se obtuvo por kriging el mapa de la Figura 3. En este sentido, igualmente (Mogollón y Comerma, 1994) ajustaron este tipo de modelo a los valores de RP hasta 30 cm de profundidad. También este autor empleo los de tipo de exponencial y gaussiano para las fracciones texturales del suelo en estudio.

Desde el punto de vista de su comportamiento espacial las mayores RP se localizan en la dirección este-oeste del límite norte de área (Figura 3) a profundidades entre los 20 y 30 cm, lo cual está inexorablemente asociado a la maquinaria como tal y a la correspondencia de esta zona con la de viraje en esta cabecera de la parcela, recayendo el peso del apero sobre el eje del tractor generando en este caso compactación del suelo por rodadura. En el resto de los puntos y a profundidades menores es más difícil de discernir y no se puede ser tan categórico a causa del carácter arenoso, poco estructurado y bien drenado de estos suelos. Aunque desde el punto de vista estadístico existe asociación lineal entre RP y la densidad, la distribución espacial de la RP no está estrechamente asociada a los patrones de altos valores de Da del área de estudio.

Se debe apuntar que mediante el mapa de la Figura 3 se persigue el propósito de mostrar las principales tendencias de esta propiedad en el área experimental con vista a la toma de decisiones en ulteriores manejos y medidas de recuperación del suelo.

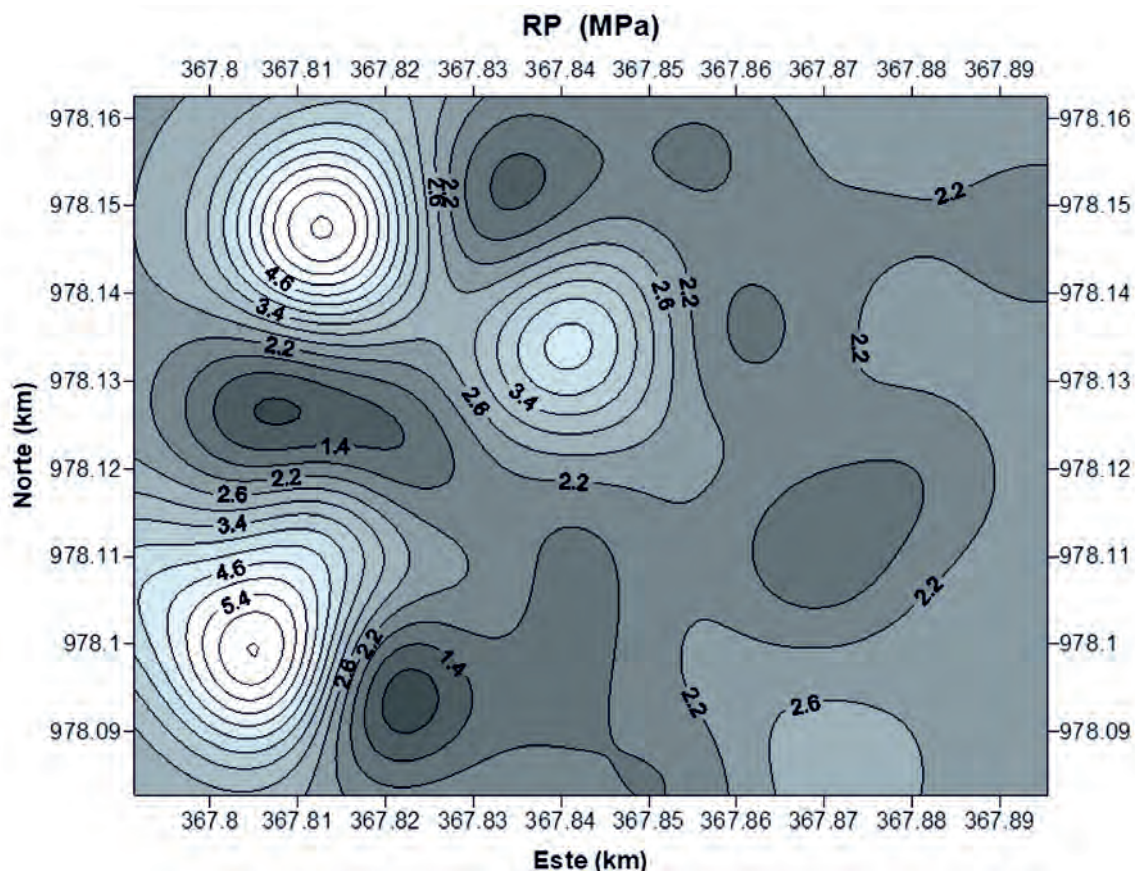


FIGURA 3. Distribución de la resistencia a la penetración promedio a los 20 cm del suelo de la parcela experimental.

Al igual que para la Da, se maneja un valor de resistencia crítico en función en este caso de la relación entre la presión efectuada por las raíces y lo medido con el penetrómetro, la cual es dependiente del contenido de arcilla inherente al suelo en cuestión. Para un suelo arenoso con porcentajes de la fracción arcilla entre el 5 y el 10 %, como el de estudio, se le atribuye un valor de RP crítico de 7,2 MPa, el cual se satisface en varios de los sitios muestreados entre los que clasifican los anteriormente destacados en el análisis de variabilidad espacial. Los límites críticos de trabajos en la literatura para la RP generalmente fluctúan desde 2 hasta 6 MPa, lo cual reafirma y tipifica aún más el resultado obtenido. En cualquiera de los casos, se evidencia que impera en el suelo del área una resistencia mecánica que potencialmente es causa limitante para el desarrollo de las raíces, lo cual es también relativo al tipo de cultivo como tal.

Todo ello sin obviar que es consabido que lo registrado por el PDC u otro similares suele ser mayor a los valores de RP que experimenta una raíz creciendo en el mismo suelo, por su capacidad de

adaptabilidad. En ello pesa que los registros del penetrómetro llevan implícito una sobreestimación de la impedancia del suelo, una vez que no discriminan del valor que registra la sonda cónica el correspondiente a la fuerza de fricción entre el vástago del equipo y el suelo. La magnitud de esta fuerza adicional registrada es dependiente de la relación entre la longitud y el diámetro del vástago en contacto con el suelo y el área de la base del cono (Ramos *et al.*, 2014).

### Correlación entre propiedades

Resulta de interés evaluar el valor de la correlación de Pearson entre estas propiedades físicas, químicas y mecánicas, pues constituye un primer acercamiento cuantitativo al vínculo que en la práctica existe entre ellas y que puede arrojar luz en relación a los manejos de suelo. La Tabla 4 muestra la matriz de correlación entre un grupo de variables en las cuales se sintetizan los aspectos más relevantes de ese vínculo.

**Tabla 4. Correlación de Pearson entre algunas de las propiedades físicas, químicas y físico- químicas medidas**

Arena	Limo	Arcilla	Da	P	Ca	Mg	M.O	pH <sub>H2O</sub>	RP <sub>20cm</sub>
<b>Arena</b>	<b>-0,93</b>	0,051	0,096	<b>-0,663</b>	-0,121	-0,315	<b>-0,410</b>	0,102	<b>0,727</b>
	<b>Limo</b>	<b>-0,051</b>	-0,096	<b>0,663</b>	0,121	0,315	<b>0,410</b>	-0,102	0,13
		<b>Arcilla</b>	<b>-0,236</b>	0,245	0,277	0,373	-0,069	-0,312	-0,22
			<b>Da</b>	<b>-0,155</b>	0,024	-0,159	<b>-0,384</b>	-0,021	<b>0,51</b>
				<b>P</b>	<b>-0,331</b>	<b>0,552</b>	<b>0,439</b>	<b>-0,447</b>	-0,20
					<b>Ca</b>	-0,025	0,102	0,387	0,03
						<b>Mg</b>	-0,315	0,177	-0,12
							<b>M.O</b>	0,028	-0,32
								<b>pH<sub>H2O</sub></b>	0,10
									RP <sub>20cm</sub>

*Nota: En negrilla se destacan correlaciones significativas (p < 0,01)*

Se llama la atención acerca del alto grado de correlación entre sí de las fracciones de las partículas primarias del suelo calculadas, lo que responde al procedimiento usualmente empleado donde la suma de sus porcentajes debe ser igual al 100%. Debido a que estas magnitudes son linealmente dependientes es incorrecto desde el punto de vista estadístico el uso, al mismo tiempo, de los porcentajes de arena, limo y arcilla, por ejemplo, en ecuaciones de regresión.

En el caso de la fracción arcilla se destaca su correlación con el contenido de calcio, siendo la tendencia adecuada, aunque el nexo es débil. En este caso, las partículas arcillosas ya sea de forma directa (atracción electrostática) como indirecta (mediante elementos unificadores como el calcio), forman los complejos órgano minerales que contribuyen a estabilizar la materia orgánica del suelo.

En sentido general, el patrón de correlación de la arcilla puede estar asociado a la poca variación de la composición textural de los suelos analizados. De manera que, su protagonismo puede manifestarse a través de otras propiedades y procesos relacionados. Tal es el caso de su correlación con el pH (-0,31),

significando que con el aumento de este se incrementan las cargas negativas de la superficie de la arcilla (Bronick y Lal, 2005), dando lugar a un dominio de las fuerzas repulsivas, las cuales causan dispersión si esas cargas no son compensadas por las bases intercambiables.

La Da figura entre las propiedades del suelo que más afectan las propiedades hidráulicas y los procesos relacionados (Strudley *et al.*, 2008). Aunque no reportados en la tabla se constata una correlación inversa entre la Da y la humedad (- 0,54). Los suelos bajo manejos convencionales y cultivación continua se afecta la característica de transmisión de agua, debido a que experimentan una tendencia a la disminución del número poros con el transcurso del tiempo en la capa arable (Abid y Lal, 2009).

Para (Assouline, 2006), el rápido incremento de la densidad aparente debido al movimiento relativo de los agregados del suelo, reforma la distribución del tamaño de poros y, consecuente, la CRHS. En este sentido, (García y Campos, 2012), demostraron que existe una fuerte dependencia inversa entre la densidad aparente y los contenidos de humedad en todo el rango de la curva característica de retención de humedad.

También se destaca el valor de correlación de la Da con la MO del suelo (-0,38), que desde el punto de vista físico como el peso específico de la MO es más bajo que el de los componentes minerales de los suelos, se comprende que exista una relación entre el contenido de materia orgánica y la densidad volumétrica de los horizontes superiores del suelo. Ello justifica lo apuntado, en la descripción de las propiedades, en relación a los valores de la Da y acerca de la tendencia al aumento en los suelos agrícolas que por lo general acusan pérdida de fertilidad. Esta tendencia es también coherente con la observada en numerosos estudios a nivel mundial (Zacharias y Wessolek, 2007; Stavi *et al.*, 2008) y se manifiesta en una tendencia de desarrollar funciones de pedotransferencia para estimar la densidad donde la MO es un predictor esencial de estas funciones (Benites *et al.*, 2007).

En este sentido, la tendencia manifiesta entre la Da y la arena refleja el hecho que los suelos de textura gruesa resultan por lo general más densos (Alonso, 1986; Delgado, 1987).

En el caso de RP del suelo se destaca su significativa correlación con la arena (0,73), evidenciando el papel de la distribución del tamaño de partículas o textura como factor importante en la determinación de la RP. Como se conoce los suelos arenosos pueden desarrollar niveles de RP mayores a los que se derivan de su cohesividad, debido a la fricción entre partículas, lo cual se acentúa a los más bajos niveles de humedad del suelo. Ello explica porque los valores de la RP que se manejan como críticos en suelos arcillosos no tienen la menor relevancia si se hubiesen registrado en suelos arenoso, donde estos valores críticos manejados son muy superiores.

Es destacables además la dependencia de la RP con la Da (0,51) y con la M.O (-0,32), cuyas tendencias es un resultado documentado en la literatura y empleado en el desarrollo de modelos empíricos que permiten correlacionar las lecturas de sensores con la magnitud de la compactación del suelo, medida a partir de la densidad volumétrica.

Desde el punto de vista físico refleja que el incremento de la RP asociado al secado del suelo es tanto más marcado cuanto mayor es la densidad aparente. Tal es en el uso de la maquinaria agrícola, en muchos casos con peso considerable, consolidando las partículas de suelo, lo cual está en función de la humedad, generándose un aumento de la densidad con el correspondiente aumento de resistencia a ser penetrado.

En lo segundo mucho implica el carácter variable de la RP con los contenidos de humedad. La propiedad hidrófila de los contenidos de materia orgánica es capaz de afectar los procesos relacionados con la retención de manera directa o indirecta a través de sus efectos sobre la estructura del suelo y la susceptibilidad de los suelos a la erosión, la compactación y otros procesos degradantes (Klute, 1986; Dick y Gregorich, 2004; Lal y Shukla, 2014).

## CONCLUSIONES

- Los valores de la composición del tamaño de partículas denotan un marcado predominio de la fracción arena y muy bajos contenidos de limo y arcilla, acorde al igual que las propiedades químicas con las características de los suelos de la región, por tanto, su comportamiento y variabilidad espacial no pueden ser directamente asociado a las prácticas mecanizadas.
- A los 20 cm de profundidad existen elevados valores de la densidad aparente ( $1,62 \pm 0,11 \text{ g-cm}^{-3}$ ) que obedecen al carácter arenoso de este suelo y a una tendencia esperada de incremento de estos valores como rasgo común de los suelos agrícolas.
- Los valores de resistencia a la penetración se incrementan a partir de los 15 y hasta los 30 cm, con valores máximos a los 25 cm, siendo las profundidades mayores inaccesibles por el penetrómetro a causa de la elevada impedancia mecánica del suelo ligada a las prácticas mecanizadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABID, M.; LAL, R.: "Tillage and drainage impact on soil quality II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration", *Soil and Tillage Research*, 2009, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2008.11.04.
- ALONSO, L.C.A.: "Características agrofísicas y micromorfológicas de los suelos de la llanura ferralítica de Cuba= Caractéristiques agro-physiques et micromorphologiques des sols de la plaine ferrallitique de Cuba", 1986.
- ASSOULINE, S.: "Modeling the relationship between Soil Bulk Density and the water retention curve", *Vadose Zone Journal*, 5: 554-563, 2006, ISSN: 1539-1663.
- BENITES, M.V.; MACHADO, P.; FIDALGO, C.; COELHO, M.; MADARI, B.: "Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil", *Geoderma*, 139: 90-97, 2007.
- BRONICK, C.J.; LAL, R.: "Soil structure and management: a review", *Geoderma*, 124(1-2): 3-22, 2005, ISSN: 0016-7061.
- COMERMA, J.; CHIRINOS, A.: "Características de algunos suelos con y sin horizonte argílico en las Mesas Orientales de Venezuela. Characteristics of some soils with and without Argillic horizon in the Eastern mesas of Venezuela.", *Agronomía Tropical (Venezuela)*. v. 27 (2) p. 181-206., 1977.
- DELGADO, R.D.: "Estado energético del agua y su interrelación con las propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos ferralíticos rojos de Cuba", *inédito*, tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, 1987.
- DICK, W.A.; GREGORICH, E.G.: "Developing and maintaining soil organic matter levels", *Managing soil quality: Challenges in modern agriculture*,: 103-120, 2004.
- ELIASSON, L.: "Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction", *Silva Fennica*, 39(4): 549, 2005.
- GARCÍA, A.J.H.; CAMPOS, H.J.C.: "Comparación de tres métodos para determinar densidad aparente y solidez en tres suelos franco arenosos de sabana", *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4): 861-872, 2012, ISSN: ISSN: NULO-0088.



- GARCÍA, J.; RUÍZ, P.M.E.; HERNÁNDEZ, P.; TOLEDO, V.; SALGUERO, F.; CASTILLO, N.: “Resistencia mecánica de suelos de la Mesa de Guanipa, Estado de Anzoátegui, Venezuela”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1): 26-32, 2016, ISSN: 2227-8761.
- GRIFFITH, D.R.: “Conservation tillage in the eastern corn belt.”, *J. Soil Water Conserv.*, 32: 20–28, 1977.
- HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ, J.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, LL Barcaz, Ed., t. 1 ed., La Habana, Cuba, 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HOSSNE, A.: “Las rastras de disco y sus perspectivas económicas en Venezuela”, *Revista Científica UDO Agrícola*, 6(1): 41-46, 2006, ISSN: NULO-0088, DOI: 10.14214/sf.366.
- HOSSNE, A.; MAYORCA, Y.; SALAZAR, L.; SUBERO, F.; ZACILLO,.: “Humedad compactante y sus implicaciones en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela”, *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4): 937-950, 2009, ISSN: NULO-0088.
- INDER/INIA: *El cultivo de soya en la Mesa de Guanipa*, Ed. Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierra, Caracas, Venezuela, 6-10 p., 2012.
- JONES, C.A.: “Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth 1”, *Soil Science Society of America Journal*, 47(6): 1208–1211, 1983, ISSN: 0361-5995.
- KLUTE, A.: *Laboratory Methods*, ser. Agronomy Monograph Series, no. ser. 9, Ed. ASA and SSSA, Methods of Soil Analysis, Part I. (2nd Edition) ed., Madison, Wisconsin, 1986.
- LAL, R.; SHUKLA, M.: *Principles of soil physic*, New York, USA, 2014.
- LOZANO, Z.: “Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos”, *Venesuelos*, 14: 70-79, 2011.
- LOZANO, Z.; DEYANIRA LOBO, L.; ILDEFONSO PLA, L.: “Susceptibilidad a la degradación física de Anfisosoles de los llanos centrales y occidentales de Venezuela”, *Documento de Trabajo. Maracay. Venezuela*, 2002.
- MAZZANI, B.: “Los suelos y su manejo en los llanos centro-occidentales”, *Investigación y tecnología del cultivo del ajonjolí en Venezuela*, 1999.
- MOGOLLÓN, L.F.; COMERMA, J.A.: *Suelos de Venezuela*, Ed. Exlibris, PDVSA PALMAVEN, 21 p., 1994.
- NACCI, S.; PLA, I.: “Estudio de la resistencia a la penetración de los suelos con equipos de penetrometría desarrollados en el país”, *Agronomía Tropical*, 42(1-2): 115–132, 1992, ISSN: 0002-192X.
- PLA, I.: “Evaluación y diagnóstico de propiedades físicas del suelo en relación a la labranza”, *Memorias de II Reunión Bienal de la Red Latinoamericana de Labranza Conservacionista*: 42–51, 1993.
- RAMOS, C.E.; MARTÍNEZ, A.; GARCÍA DE LA FIGAL, A.: “Modelo para el cálculo de la resistencia del suelo a la penetración de sondas. Parte I: sondas cónicas”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*: 2071–0054, 2014.
- REINERT, D.; REICHERT, J.; AITA, C.; CUBILLA, M.: “Una alternativa para disminuir la compactación en siembra directa”, *Revista El Productor*, 2001.
- RODRÍGUEZ, T.; SANABRIA, D.; NAVARRO, L.: “Nuevos enfoques en el manejo de sabanas en los llanos orientales venezolanos”, *Fonaiap Divulga (Venezuela)*.(Ene-Mar 1996).(, (52): 34–37, 1996.
- SOIL SURVEY STAFF: *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, Ed. US Government Printing Office, 1975.
- STAVI, I.; UNGAR, E.D.; LAVEE, H.; SARAH, P.: “Grazing-induced spatial variability of soil bulk density and content of moisture, organic carbon and calcium carbonate in a semi-arid rangeland”, *Catena*, 75(3): 288–296, 2008, ISSN: 0341-8162.
- STOLF, R.; REICHARDT, K.; VAZ, C.M.P.: “Response to ‘Comments on ‘Simultaneous Measurement of Soil Penetration Resistance and Water Content with a Combined Penetrometer–TDR Moisture Probe’ and ‘A Dynamic Cone Penetrometer for Measuring Soil Penetration Resistance’”, *Soil Science Society of America Journal*, 69(3): 9-26, 2005, ISSN: 0361-5995, DOI: 10.2136/sssaj2005.0926.
- STRUDLEY, M.W.; GREEN, T.R.; ASCOUGH II, J.C.: “Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science”, *Soil and Tillage Research*, 99(1): 4–48, 2008, ISSN: 0167-1987.
- WARRICK, A.W.; MYERS, D.E.; NIELSEN, D.R.: *Geostatistical methods applied to soil science*, ser. Methodssoilan1, vol. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, USA, 1986.
- ZACHARIAS, S.; WESSOLEK, G.: “Excluding Organic Matter Content from Pedotransfer Predictors of Soil Water Retention Abbreviations: MD, mean deviation; OM, organic matter content; PTF, pedotransfer function; r, Pearson correlation coefficient; RMSD, root mean squared deviation; WRC, water retention characteristic.”, *Soil Science Society of America Journal*, 71(1): 43–50, 2007, ISSN: 0361-5995.

---

**Recibido:** 22/12/2017.

**Aprobado:** 06/08/2018.

Jorge Garcia Coronado, Profesor, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Autopista Nacional km 23,5y carretera de Tapaste, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: [jgarcia@unah.edu.cu](mailto:jgarcia@unah.edu.cu)

María E. Ruíz Pérez, Correo electrónico: [mruizperez@gmail.com](mailto:mruizperez@gmail.com)

Nilda L. Castillo, Correo electrónico: [jgarcia@unah.edu.cu](mailto:jgarcia@unah.edu.cu)

Lázara Rangel, Correo electrónico: [lazarar@unah.edu.cu](mailto:lazarar@unah.edu.cu)

Nota: 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.