



19

# 19

---

Fecha de presentación: enero, 2018

Fecha de aceptación: marzo, 2018

Fecha de publicación: abril, 2018

## LA DENSIDAD Y HUMEDAD CRÍTICA COMO INDICADORES DE LA COMPACTACIÓN DE SUELOS CULTIVADOS CON BANANO

### THE DENSITY AND CRITICAL HUMIDITY AS INDICATORS OF THE COMPACTION OF SOILS CULTIVATED WITH BANANA

Ing. Miguel Bustamante León<sup>1</sup>

E-mail: [mbustamante\\_est@utmachala.edu.ec](mailto:mbustamante_est@utmachala.edu.ec)

Dr. C. Julio Chabla-Carrillo<sup>1</sup>

E-mail: [jechabla@utmachala.edu.ec](mailto:jechabla@utmachala.edu.ec)

Dr. C. Salomón Barrezueta-Unda<sup>1</sup>

E-mail: [sabarrezueta@utmachala.edu.ec](mailto:sabarrezueta@utmachala.edu.ec)

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala. República del Ecuador.

#### Cita sugerida (APA, sexta edición)

Bustamante León, M., Chabla-Carrillo, J., & Barrezueta-Unda, S. (2018). La densidad y humedad crítica como indicadores de la compactación de suelos cultivados con banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 169-174. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.

#### RESUMEN

Con el objetivo de determinar la Densidad crítica (DaC) y humedad crítica (HoC) del suelo en función de la compactación inducida por medio de la prueba de Proctor, se realizó una Investigación en dos fincas bananeras del cantón Machala, provincia de El Oro (Ecuador). Donde fueron delimitadas dos parcelas por fincas, donde se extrajo varias submuestra de suelo de los primeros 30 centímetros (cm), las cuales fueron sometidas a una compactadas de 8.12 kg cm<sup>-2</sup> en el equipo Proctor, para luego determinar la humedad y densidad aparente del suelo. Con los resultados se realizaron regresiones simples y múltiples, donde las variables predictoras fueron: porcentaje de arena, limo, arcilla y materia orgánica y las variables dependientes DaC y HoC. Dentro de los resultados los suelos de la finca 1 se obtuvo un máximo de DaC de 1.74 g cm<sup>-3</sup> con una HoC de 14.93%, mientras que en la finca 2 el DaC fue de 1.62 g.cm<sup>-3</sup> con mayor retención de humedad (16.19%) información preliminar que incida mayor resistentes a la compactación. En el caso de las regresiones se obtuvieron un R<sup>2</sup> ≥0.7 con un rango máximo de 0.99. Por lo que la obtención de DaC y HoC mediante la prueba Protoc son confiables para predecir el nivel de compactación del suelo.

**Palabras clave:** Prueba Proctor, materia orgánica, humedad, densidad crítica

#### ABSTRACT

In order to determine the Critical Density (DaC) and critical humidity (HoC) of the soil as a function of the compaction induced by the Proctor test, an Investigation was carried out in two banana plantations in the Machala canton, province of El Oro (Ecuador). Where two parcels were delimited by farms, where several subsample of soil of the first 30 centimeters (cm) was extracted, which were subjected one compacted of 8.12 kg cm<sup>-2</sup> in the Protor team. With the results, simple and multiple regressions were performed, where the predictor variables were: percentage of sand, silt, clay and organic matter and the dependent variables DaC and HoC. Within the results the soils of the farm 1 was obtained a maximum of DaC of 1.74 g cm<sup>-3</sup> with a HoC of 14.93%, while in the farm 2 the DaC was of 1.62 g.cm<sup>-3</sup> with greater retention of humidity (16.19%) preliminary information that is more resistant to compaction. In the case of the regressions, R<sup>2</sup> was obtained ≥0.7 with a maximum rank of 0.99. So obtaining DaC and HoC using the Protoc test are reliable for predicting the level of soil compaction.

**Keywords:** Standard Proctor Test, organic matter, moisture, critical density.

## INTRODUCCIÓN

La compactación es uno de los procesos de degradación de los suelos que reduce la productividad principalmente en plantas herbáceas como el banano (*Musa acuminata spp*). Considerando este problema se ha implementado varias metodologías que permitan estimar el nivel de compactación en función de los límites críticos de la densidad aparente ( $D_a$ ) y de la humedad del suelo, las cuales se relacionan con propiedades físicas como los niveles de las partículas del suelo y con la materia orgánica (Reyes, 2010).

En función de los valores de  $D_a$  se establecen diferentes límites críticos de que varían de acuerdo al orden y tipo de suelo (Hossne García, Mayorca Jaime, Salazar Bastardo, Subero Llovera & Zacillo Contrera, 2009), como franco arenosos de orden Inceptisol cuyo límite de densidad crítica ( $D_{aC}$ ) es  $1.80 \text{ g cm}^{-3}$ , lo cual indica una reducción de la porosidad y una alteración de la distribución y tamaño de los poros provocando la compactación del suelo.

La compactación de los suelos puede darse por medio de dos vías: i) por medio natural mediante el humedecimiento y secado del suelo relacionado este efecto por las condiciones climáticas y ii) por medio artificial con la aplicaciones de fuerza mecánica al suelo como las labranzas agrícolas y el tránsito de los trabajadores cuando el suelo está humedecido, entre otros (Leberth & Horn, 1991), considerado por Claverie, Balbuena, Terminiello, Casado, Mangui & Jorajuria, (2000), al segundo factor con el medio más frecuencia de compactación.

De acuerdo a Nuñez & Bisbal (1999), la reducción de la cantidad de oxígeno por efecto de la compactación disminuye el crecimiento y penetración de las raíces en el suelo, en especial en plantas herbáceas donde la mayor masa radicular está en los primeros 30 cm del suelo.

Por otro lado la determinación de la  $D_{aC}$  con la prueba Proctor la cual es obtenida con una cantidad dada de energía que impactante de forma vertical (200 kilo pascal), obteniendo un grado de compactación de las partículas, al que Díaz (2000), indica que es un modelo potencial para estimar la susceptibilidad de compactación de los suelos agrícola.

En este contexto para estimar el grado de compactación de un suelo agrícola se planteó el siguiente objetivo: determinar la Densidad crítica ( $D_{aC}$ ) y humedad crítica ( $H_{oC}$ ) del suelo en función de la compactación inducida por medio de la prueba de Proctor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en dos plantaciones bananeras la Parroquia El Cambio (Figura 1), provincia de El Oro (Ecuador), donde se delimitó dos parcelas por finca (Tabla 1). Ambos predios, comparten igual condiciones ecológicas con zona de vida de bosque muy seco tropical (Holdrige 1979), temperatura promedio que oscilan entre 25 a 26 °C y una precipitación media anual de 500 mm. Los suelos son de origen aluvial de orden taxonómico Inceptisol, con clases texturales que van de franco, franco limoso y franco arenoso con un bajo contenido ( $\leq 2\%$ ) de materia orgánica.

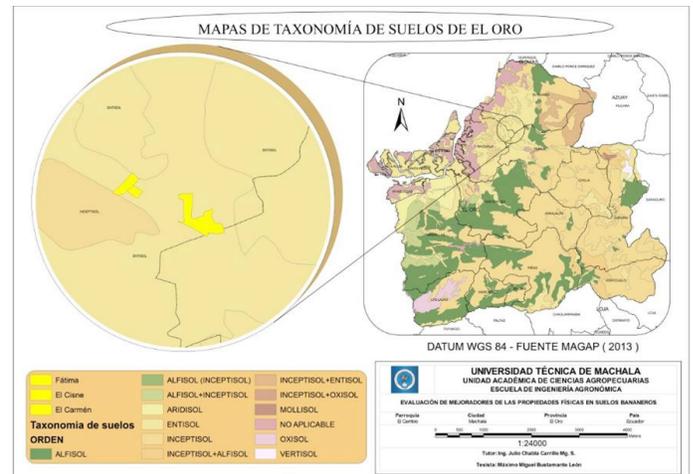


Figura 1. Ubicación de las plantaciones bananeras en la provincia El Oro.

Tabla 1. Localización de los predios y parcelas estudiadas.

Fincas(F)	Parcelas (P)	Coordenadas UTM*
El Carmen	P1_P1	625437.40; 9636144.32
	P1_P2	624599.68; 9635650.85
La Fátima	P2_P1	626811.40; 9634931.56
	P2_P2	625787.68; 9634990.95

\*Datum de posicionamiento global WGS 84

### Muestro y análisis de laboratorio

El patrón de muestro empleado fue el recomendado por Días (2000) y modificada por Reyes (2010), donde la ubicación de las dos parcelas por fincas fue al azar. Una vez delimitado el área se extrajo varias submuestras por parcelas dos muestras a una profundidad de 30 cm de la superficie, las cuales fueron secadas al aire y tamizadas (2 mm) para su posterior análisis en laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Técnica de Machala (UTMach), donde se utilizó un equipo Proctor estándar ASTM de tipo manual, constituido por un molde cilíndrico

de 101.6 mm de diámetro interior, 116.4 mm de altura (volumen de 944 cm<sup>3</sup>), el equipo se completa con un martillo de 50.8 mm de diámetro y peso de 2.5 kilogramos (kg).

El proceso de llenado de los cilindros consistió en colocar tres capas de suelo induciéndole la compactación por medio de 25 golpes repartidos uniformemente al dejar caer el martillo desde una altura de 30.5 cm para obtener una presión de 8.12 kg cm<sup>-2</sup>. A continuación; fueron humedecidas las muestras, luego pesadas y colocadas a la estufa por 24 horas, para al final ser pesadas y mediante diferencia de pesos constar la humedad y la densidad aparente.

También se realizó la determinación de la textura por el método de Bouyoucos (Soil Survey Staff, 2014) y de materia orgánica por vía humedad (Walkey & Black 934) en el laboratorio de suelos de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la UTMach.

Con los valores obtenidos se realizó un análisis descriptivo en función de su media y una prueba t para muestras independiente con un grado de significancia al 5% ( $p \leq 0.05$ ). Los datos obtenidos fueron ajustados a una ecuación de regresión cuadrática, herramienta que permitió estimar la DaC y HoC alcanzada en el suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis granulométrico (tabla 2) indico que los suelos variaron de un franco arenoso en la finca 1 (F1)

Tabla 2. Resumen de medias para algunas propiedades del suelo.

Código	Textura	H %	HoC %	DaC (g cm <sup>-3</sup> )	Partículas Granulométricas (%)			Materia orgánica %	Sig. 0.05
					arena	limo	arcilla		
F1P1_P1	Franco arenosa	34.19	14.93	1.74	70.4	22.2	7.4	2.13	p≤0.05
F1P1_P2	Franco arenosa	32.87	12.69	1.72	65.4	32	2.6	1.31	
F2P2_P1	Franco	44.14	18.82	1.62	46	45.2	8.8	2.2	
F2P2_P2	Franco limosa	33.51	16.69	1.62	38	53.2	8.8	1.97	

\*( $p \leq 0.05$ )

F1P1\_P1 (finca 1, parcela 1, punto 1); F1P1\_P2 (finca 1, parcela 1, punto 2); F2P2\_P1 (finca 2, parcela 1, punto 1); F2P2\_P2 (finca 1, parcela 1, punto 2); DaC: densidad crítica; HoC: humedad crítica

Las regresiones lineales (Tabla 3) realizadas para cada punto, indica un R<sup>2</sup> por encima de 0.94, con el mayor valor en F1P1\_P1 (R<sup>2</sup> 0.99), lo cual representa una buena relación entre la HoC y la DaC como variables predictores para estimar la compasión del suelo. Según Davies (1985), la humedad facilita el reordenamiento de las partículas de manera más compacta al oprimir la muestra de suelo a diferentes presiones, por otra parte Turnbull & Foster (1957), indican que a bajos contenidos de humedad la DaC aumenta o permanece más o menos constante justificando su alta regresión.

a un franco y franco limoso en la en la finca 2 (F2), lo que produjo diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el porcentaje de humedad cuyos rangos fueron de 32.87 % (F1P1\_p2) y 44.14 % (F2P1\_p1) contraste que se relaciona con HoC entre ambos puntos. En el caso de la DaC en F1 este se relaciona con el mayor contenido de arena, mientras que en F2 se observa un predominio de limo sobre la arcilla y arena.

Por otra parte, también en la tabla los contenidos de MO que fueron bajos ( $\leq 2.13\%$ ) en todas las muestra, pero con una relación directa con contenido de HoC. Para Hossne García, et al. (2009), existe una correlación positiva con la DaC y el contenido de arcilla y negativa con la humedad del suelo, esto ocasiona que a mayores contenidos de arena aumentan el peso y disminuye la capacidad de retención de humedad del suelo.

Para Beylinch, Oberholzer & Scharoder (2010), valores  $\leq 1.70$  g cm<sup>-3</sup> restringe la mineralización y vida microbiana del suelo, en este caso los contenidos de H% y MO incidieron en una menor DaC (1.62 g cm<sup>-3</sup>) en la F2, que según Pecorari, Andriulo, & Ausilio (1993), la presencia de residuos orgánicos causa un efecto de resistente a la compactación por el contenido de humedad, lo que dificulta este proceso de degradación.

Tabla 3. Regresión lineal.

Código	R <sup>2</sup>	Ecuaciones
F1P1_P1	0.99	$y = -0.0016x^2 + 0.0478x + 1.3885$
F1P1_P2	0.94	$y = -0.0031x^2 + 0.0787x + 1.2201$
F2P2_P1	0.97	$y = -0.0014x^2 + 0.0527x + 1.1333$
F2P2_P2	0.97	$y = -0.0026x^2 + 0.0868x + 0.8935$

Y= densidad (g.cm<sup>-3</sup>); x= humedad (%)

En la figura 2 el comportamiento de la curva en la F1P1\_P1 es más abierta en comparación con F1P1\_P2 donde es más cerrada, lo que indica la compactación en el último punto por su menor contenido de H y MO. Para Bravo & Andreu (1995), el horizonte A y B con una proporción de arena + limo > 60% son altamente susceptibles a la degradación superficial (formación de costras). Mientras que en la F2 las curvas guardan relación por mantener una DaC igual e inferior a los puntos determinados en F.

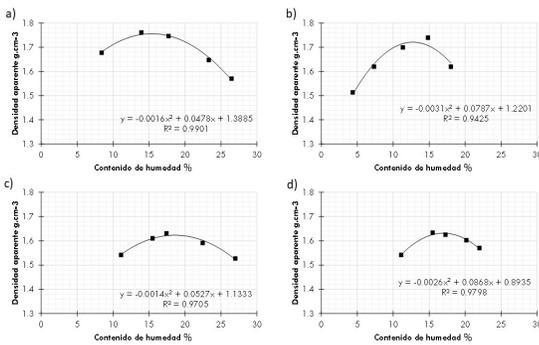


Figura 2. Curvas polinómicas del comportamiento de la densidad y humedad crítica (DaC y HoC), a) Parcela 1\_p1, b) Parcela 1\_p2, c) Parcela 2\_p1, d) Parcela 2\_p2.

El análisis de regresión múltiple (Tabla 4) las variables predictoras MO, arcilla, limo y arena tienen una alta relación con las variables dependiente DaC y HoC con valores de R<sup>2</sup> >0.7, donde el mejor ajuste (0.970) fue en DaC con limo+MO, seguido de arena+MO (0.961) y limo+MO (0.907) en HoC en lo que indica la bondad de ajuste del sistema Proctor.

Tabla 4. Regresión múltiple

Variables de curva de compactación		Coefficiente	X1	X2	R2
DaC (g cm-3)	arena+MO	1.483	0.004	-0.013	0.961
	Arcilla+MO	1.516	0.255	-0.047	0.757
	limo+MO	1.908	-0.038	-0.004	0.970

HoC %	a,MO	12.633	-0.086	4.130	0.899
	A,MO	10.838	0.845	-0.464	0.786
	L,MO	3.352	0.093	4.660	0.907

## CONCLUSIONES

Se demostró la relación de la DaC con los niveles de MO y arena del suelo en el caso de la F1 los valores indican un grado de compactación mayor. En el caso de F2 el mayor contenidos de MO y partículas finas, aumentan la capacidad de los suelos para almacenar agua ocasionando que el suelo tenga una menor probabilidad de compactarse.

El análisis de regresión múltiple indica que existe una gran relación de las partículas arena, limo y MO para la compactación del suelo indicando la bondad de ajuste del sistema Proctor para la obtención de la DaC y HoC%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beylich, A., Oberholzer, H., & Schrader, S. (2010). Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. *Soil Till Res*, 109(133).
- Bravo, C., & Andreu, E. (1995). Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un alfisol del Estado Guárico, Venezuela, bajo sistemas de labranza. *Venezuelos*, 3(2), 62-68. Recuperado de [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/1056](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/1056)
- Claverie, L., Balbuena, R., Terminiello, A., Casado, J., Mangui, E., & Jorajuria, D. (2000). Compactación inducida por el tráfico de máquinas en suelo forestal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(2), 286 – 289. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100004&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662010000100004&script=sci_abstract&tlng=es)
- Davies, P. (1985). Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *Journal of Soil Science*, 36, 299-306.
- Días, J. (2000). Comportamiento de la curva de compactación de cinco solos de la región de lavras (MG). *Agrot.*, 24, 337-346.
- Hossne García, A., Mayorca Jaime, Y. N., Salazar Bastardo, L. D., Subero Llovera, F. A., & Zacillo Contreras, A. M. (2009). Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 937-950. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3394198.pdf>.

- Lebert, M., & Horn, R. (1991). A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil & Tillage Research*, 19 (2-3), 275-286. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879190095F>
- Pecorari, C., Andriulo, A., & Ausilio, A. (1993). Aptitud físico-mecánica de los suelos para el laboreo. II: Efectos de la textura y de la materia orgánica sobre la densidad aparente máxima de algunos suelos de la región pampeana argentina. Pergamino: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Reyes, W. J. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de, suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22(1), 29-36. Recuperado de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612010000100004](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100004)
- Soil Survey Staff. (2014). Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). Whashington: Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Turnbull, W. J., & Foste, C. R. (1957). Compaction of a graded crushed stone base course. Proc. 4 Intern. Conf. soil Mech. Found. Eng., 2,181-185.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38. Recuperado de <http://www.sciepub.com/reference/105121>