



## Efecto de la mecanización del suelo sobre sus propiedades físicas y la producción de papaya (*Carica papaya* L.)

*Effect of mechanization of the soil on its physical properties and the production of papaya (Carica papaya L.)*

*Efeito da mecanização do solo sobre suas propriedades físicas e produção de mamão (Carica papaya L.)*

Héctor Eduardo Hernández Núñez  
eduardo.5560@hotmail.com  
Diego Fernando Méndez Vargas  
Luis Carlos Becerra Ordoñez  
Anthony José Díaz Isaza

Universidad Estatal Amazónica, Programa de Ingeniería Agroecológica.  
Semillero de investigaciones en Agroecosistemas de la Amazonia -SIAM-. Grupo de investigación en Agroecosistemas y Conservación en Bosques Amazónicos -GAIA-. Ecuador

Artículo recibido mayo 2016, arbitrado junio 2017 y publicado en septiembre 2017

### RESUMEN

Con el objetivo de analizar el efecto de la mecanización del suelo sobre sus propiedades físicas y la producción de papaya en el centro de investigaciones amazónicas Macagual - Cesar Augusto Estrada González, Florencia, Caquetá. Se evaluaron los siguientes tratamientos: mecanización con moto azada (T1), azadón (T2) y sin mecanización (testigo (T3)). Se evaluaron las propiedades físicas al día siguiente de la aplicación de los tratamientos (tiempo 1) y 15 meses después (tiempo 2). En el tiempo 1 la resistencia a la penetración (Rp) presentó diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tres tratamientos en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, mientras que de 20-30 cm solo T1 presentó diferencias significativas respecto a T2 y T3. No hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tres tratamientos en el tiempo 2. Se correlacionaron las variables físicas con el coeficiente de variación de Pearson encontrando correlaciones significativas positivas entre Rp y Da de 0.62, HG y Pt de 0.84 y negativas entre Rp y Porosidad total (Pt) de -0.64, Rp y Humedad gravimétrica (HG) de -0.67, HG y Da de -0.84. Los rendimientos de papaya presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos siendo T1 el que mayor producción con rendimientos de 13,04 ton/ha, seguido de T2 con 10,33 ton/ha y T3 con 8,54 ton/ha en la primer cosecha.

**Palabras clave:** Densidad aparente, Resistencia a la penetración, porosidad, producción, degradación de suelo

### ABSTRACT

With the objective of analyzing the effect of soil mechanization on its physical properties and the production of papaya at the Amazon research center Macagual - Cesar Augusto Estrada González, Florencia, Caquetá. The following treatments were evaluated: mechanization with hoe (T1), hoe (T2) and without mechanization (control (T3)). The physical properties were evaluated the day after the application of the treatments (time 1) and 15 months later (time 2). At time 1 the resistance to penetration (Rp) showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between the three treatments in the depths of 0-10 and 10-20 cm, while of 20-30 cm only T1 presented significant differences with respect to T2 and T3. There were no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the three treatments at time 2. Physical variables were correlated with the Pearson coefficient of variation finding positive significant correlations between Rp and Da of 0.62, HG and Pt of 0.84 and negative between Rp and Total Porosity (Pt) of -0.64, Rp and Gravimetric Humidity (HG) of -0.67, HG and Da of -0.84. The papaya yields showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among the treatments, with T1 being the one with the highest production with yields of 13.04 t / ha, followed by T2 with 10.33 t / ha and T3 with 8.54 ton / ha in the first harvest.

**Key words:** Apparent density, Penetration resistance, porosity, production, soil degradation.

## RESUMO

Com o objetivo de analisar o efeito da mecanização do solo sobre suas propriedades físicas e a produção de mamão no centro de pesquisa da Amazônia Macagual - Cesar Augusto Estrada González, Florencia, Caquetá. Os seguintes tratamentos foram avaliados: mecanização com enxadas (T1), enxadas (T2) e sem mecanização (controle (T3)). As propriedades físicas foram avaliadas no dia seguinte à aplicação dos tratamentos (tempo 1) e 15 meses depois (tempo 2). No tempo 1, a resistência à penetração (Rp) mostrou diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os três tratamentos nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm, enquanto 20 a 30 cm apenas o T1 apresentou diferenças significativas em relação a T2 e T3. Não houve diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os três tratamentos no tempo 2. As variáveis físicas foram correlacionadas com o coeficiente de variação de Pearson, encontrando correlações positivas significativas entre Rp e Da de 0,62, HG e Pt de 0,84 e negativas. Entre Rp e porosidade total (Pt) de -0,64, Rp e umidade gravimétrica (HG) de -0,67, HG e Da de -0,84. Os rendimientos de mamão apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre os tratamentos, sendo T1 a maior produção com rendimento de 13,04 ton / ha, seguido de T2 com 10,33 ton / ha e T3 com 8,54 ton / ha na primeira colheita.

**Palavras-chave:** Densidade aparente, Resistência à penetração, porosidade, produção, degradação do solo

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural formado por mezclas de partículas orgánicas e inorgánicas (Becerra et al., 2005). Puede estar sujeto a constantes cambios en su estructura ya sea por la acción de fuerzas externas o internas (Dorner et al., 2009). Tales como: disminución de la porosidad, destrucción de

la estructura, causan pérdida a largo plazo en la función y productividad de los ecosistemas (González et al., 2009). El conjunto de estos fenómenos y los daños que produce son considerados como una degradación del suelo (Claro et al., 2000; González et al., 2009).

Uno de los factores de mayor incidencia en la degradación de suelos es la compactación (González y Nogues, 2012), que está en relación con el tamaño de los agregados, humedad del suelo, los procesos de manejo y del estado biótico en que se encuentran (Hossne et al., 2009). Siendo esta potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola (Botta et al., 2007; Euskadi, 2011; Lara et al., 2011). Ya que pueden presentar reducciones entre el 20% y el 76% en los rendimientos de cultivos (Gómez, 2011).

El principal objetivo de la investigación fue Analizar el efecto de la mecanización del suelo sobre sus propiedades físicas y la producción de papaya en el centro de investigaciones Amazónicas Macagual - Cesar Augusto Estrada González, Florencia, Caquetá

## MATERIALES Y MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en el Centro de investigaciones amazónicas Macagual - Cesar Augusto Estrada González de la Universidad de la Amazonia, el cual se encuentra ubicada en municipio de Florencia, al sur del Departamento del Caquetá, Colombia. Localizado geográficamente en la Amazonia Colombiana a  $1^{\circ} 37' N$  y  $75^{\circ} 36' W$  a 300 msnm. El suelo donde se realizó el estudio presenta una Textura Franco arcillosa arenosa.

La investigación estuvo amparada bajo el diseño experimental contando con un área de 2.204 m<sup>2</sup>, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 12 parcelas. Se utilizaron plantas de papaya variedad híbrido Tainung-01, la distancia de

siembra fue de dos metros entre planta y 1.8 metros entre surco Jiménez, (2002) para un total de 36 plantas por unidad experimental y total de 432 plantas. Los tratamientos a evaluar fueron: T1: mecanización del suelo con moto azada, T2: con azadón y T3: sin mecanización (testigo).

### Muestreo

Posterior a la preparación del suelo y 15 meses después se determinaron algunas propiedades edáficas. Las muestras se tomaron de 0-10 cm; 10-20 cm y 20-30 cm de profundidad siguiendo la metodología de Bravo y Andreu (1995). Se tomaron cuatro submuestras por parcela. Los parámetros analizados fueron: densidad real, densidad aparente, resistencia a la penetración, porosidad Total y humedad gravimétrica. En el momento de la producción se recolectaron los frutos y se determinó rendimiento (toneladas/hectárea).

Análisis de resultados: se realizó análisis de varianza, la comparación entre medias se hizo con LSD Fisher, con una confiabilidad del 95%, mediante el programa estadístico Infostat, la correlación de variables por el método de Pearson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resistencia a la penetración

Las impedancias mecánicas del suelo, medidas a través de la Rp, disminuyeron por efecto de la mecanización, hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tres tratamientos en el tiempo 1 (ver tabla 1). Siendo notable la disminución en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm. De 0-10 cm de profundidad T1 y T2 presentaron una disminución en la Rp de 85.50 % y 62.31 y de 10-20 cm de 57.65 % y 28.82 % respectivamente, frente a T3. Se encontró una correlación negativa de Rp y HG de -0.67, mostrando la afectación de la Rp respecto a la HG, coincidiendo con lo informado por (Elissondo *et al.*, 2001; Álvarez *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2009; Delmonte *et al.*, 2010). La disminución de la resistencia con el aumento de humedad se asocia, según Vepraskas (1984) citado por (García *et al.*, 2010) a la reducción de la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

**Tabla 1.** Dinámica de la resistencia a la penetración bajo diferente mecanización del suelo entre el mes 1 y 15

Tratamiento	Profundidad	Resistencia a la penetración (MPa)					
		Tiempo					
		Mes 1		Mes 15			
		Medias	E.E	Medias	E.E		
Testigo	0-10	0,69	± 0,04	A a	0,58	± 0,05	A a
	10-20	1,11	± 0,09	A a	1,1	± 0,05	A a
	20-30	1,36	± 0,07	A a	1,4	± 0,05	A a
Azadón	0-10	0,26	± 0,04	B b	0,55	± 0,05	A a
	10-20	0,79	± 0,09	B a	1,09	± 0,07	A a
	20-30	1,29	± 0,07	A a	1,39	± 0,06	A a
Moto azada	0-10	0,1	± 0,04	C b	0,49	± 0,05	A a
	10-20	0,47	± 0,09	C b	1,02	± 0,09	A a
	20-30	1,04	± 0,07	B b	1,25	± 0,06	A a

Letras en mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre filas ( $p \leq 0,05$ ) Letras en mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre columnas ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 2.** Correlación de propiedades físicas indicadoras de compactación.

Parámetros físicos de suelo	Resistencia a la penetración	Densidad aparente	Porosidad Total	Humedad Gravimétrica
Resistencia a la penetración	1	0	0	0
Densidad aparente	0,62	1	0	0
Porosidad Total	-0,64	-1	1	0
Humedad gravimétrica	-0,67	-0,84	0,84	1

Los tres tratamientos estuvieron por debajo de los umbrales de compactación. Estos umbrales varían de 1.5 MPa (50% de disminución en el crecimiento radical de maíz) a 3 MPa (detenimiento del crecimiento radical) (Álvarez *et al.*, 2009), aunque estos valores varían según las condiciones fisiológicas del cultivo. Jorajuria y Draghi, (2000) proponen nivel crítico de  $R_p > 2.0$  Mpa. Díaz (2004) encontraron niveles crítico de  $R_p$  entre 1,22 y 2,00 MPa (prof. < 0,20 m).

Se presentó un incremento significativo ( $P < 0.05$ ) de  $R_p$  del mes 1 al mes 15 en T1 en las profundidades de 0-10 y 10-20 y en T2 en las profundidades de 0-10 concordando con lo encontrado por (Elissondo *et al.*, 2001). Posiblemente debido al proceso

reordenamiento de las partículas del suelo, tal como lo señalan (Bravo y Andreu, 1995). T3 no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre el mes 1 y mes 15.

### Densidad aparente

Después de aplicados los tratamientos la Da T1 presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) solo en T1 con respecto a T2 y T3 en las profundidades de 0-10 y 10-20. Porque entre T2 y T3 no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), aunque disminuyó, en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm (tabla 3), coincidiendo con resultados obtenidos por (Álvarez *et al.*, 2006). Respecto a esto la  $R_p$  si presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tres tratamientos (ver tabla 2).

Corroborando lo encontrado por Álvarez *et al.* (2009) donde demuestra un una baja sensibilidad de este parámetro a los distintos manejos y afirmando lo planteado por Martínez *et al.*, (2010) que afirman que la resistencia a la penetración es un parámetro más sensible que la densidad aparente para caracterizar la compactación. T1 si presento diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto a T2 y T3 en las profundidades de 0-10 y 10-20.

Los cambios registrados en la Da del suelo antes y después de la implementación del cultivo de papaya, se presentan en los (tabla 3). Se observa en los resultados obtenidos que la Da no es un valor estático, ya que puede variar tanto espacial como temporalmente, en concordancia con esto encontramos que los valores obtenidos en el

mes 1, para T1 y T2 fueron menores a los obtenidos en el mes 15 encontrando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en las profundidades de 0-10 y de 10-20, coincidiendo con resultados obtenidos por (Bravo y Andreu, 1995). En la profundidad de 20-30 se presentó el mismo aumento con respecto al tiempo en los dos tratamientos, aunque T1 no mostro diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). La Da en T3 presento un leves cambios pero sin diferencias significativas en ninguna de las profundidades ( $P > 0.05$ ), resultados similares encontrados por Álvarez *et al.* (2009). Los cambios fueron aumento leves de Da en las profundidades de 0-10 y 10-20 cm, pero disminución en los 20-30cm, diferente a lo encontrado por (Bravo y Andreu, 1995).

**Tabla 3.** Dinámica de la densidad aparente bajo diferente mecanización del suelo entre el mes 1 y mes 15.

Tratamiento	Profundidad	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )					
		TIEMPO					
		MES 1			MES 15		
		Medias	E.E	Medias	E.E		
Testigo	0-10	0,94	± 0,02	A a	0,98	± 0,03	A a
	10-20	1,09	± 0,03	A a	1,13	± 0,03	A a
	20-30	1,21	± 0,16	A a	1,18	± 0,02	A a
Azadón	0-10	0,89	± 0,02	A b	0,98	± 0,03	A a
	10-20	1,07	± 0,03	A b	1,2	± 0,03	A a
	20-30	1,17	± 0,16	A b	1,23	± 0,02	Aa
Moto azada	0-10	0,79	± 0,02	B b	0,89	± 0,03	Ba
	10-20	0,97	± 0,03	B b	1,16	± 0,03	
	20-30	1,14	± 0,16	A a	1,2	± 0,02	A a

Letras en mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre filas ( $p \leq 0,05$ ) Letras en mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre columnas ( $p \leq 0,05$ )

**Producción:** Los rendimientos de papaya se vieron afectados de acuerdo a la mecanización del suelo (tabla 4). En diferentes estudios con diferentes plantas

autores encontraron comportamientos similares Claro *et al.*, 2000); Terminiello *et al.*, 2000; Díaz, 2004; Botta *et al.*, 2007). La disminución de rendimientos de papaya en

toneladas fue de 34.50 % en T3 respecto a T1 y de 20.78% respecto a T2. Concordando con lo afirmado por Euskadi (2011) donde estima pérdidas por problemas físicos del suelo entre

5-35% y Gómez (2011) donde que afirma reducciones entre el 20% y el 76% en los rendimientos de cultivos.

**Tabla 4.** Efecto de la mecanización sobre los rendimientos de papaya variedad híbrido Tainung-01.

Tratamiento	Rendimientos (Ton/ha)
	Medias
Moto azada	13,04 A
Azadón	10,33 B
Testigo	8,54 C

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Esta disminución en los rendimientos se relaciona a la repercusión de la compactación en el desarrollo y crecimiento de las plantas (Díaz, 2004, Sepúlveda, 2009, Delmonte *et al.*, 2010). Evidenciado principalmente en el crecimiento de las raíces (Pinzón y Amézquita, 1991, Delmonte *et al.*, 2010), provocando diferentes problemas como ralentización o paralización del desarrollo (Sepúlveda, 2009). Esta respuesta de la planta puede relacionarse con la disponibilidad de los nutrimentos al reducirse el volumen de prospección de las raíces al desaparecer o reducirse al mínimo la porosidad estructural. (Claro *et al.*, 2000).

### CONCLUSIONES

La resistencia a la penetración y la Da no son valores estáticos, ya que pueden variar tanto espacial como temporalmente, la resistencia a la penetración es un valor más sensible para medir la compactación del suelo. Después de mecanizado el suelo disminuyen los valores de Rp y Da, pero con el paso del tiempo y debido a diferentes factores estos valores van en aumento. Los rendimientos de papaya tienen una relación directa con la Rp y la Da, siendo valores sensibles a impedancias mecánica de 1.1 MPa de Rp y 1.0 g/cm<sup>3</sup> de Da.

### REFERENCIAS

- Álvarez, C; Taboada, M; Bustingorri, C; Gutiérrez, B; Flavio, H. (2006). Descompactación de suelos en siembra directa: efectos sobre las propiedades físicas y el cultivo de maíz. *CI. Suelo (Argentina)* 24 (1): 1-10
- Álvarez, C; Torres, M; Chamorro, E; Ambrosio, D; Taboada, M. (2009). Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del suelo* 27(2): 159-169
- Becerra, C; Madero, E; Herrera, G; Amézquita, E. 2005. Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de CIAT, Colombia. *Revista del instituto de Investigación FIGMMG* 8(16): 33-37
- Botta, G.; Pozzolo, O.; Bomben, M.; Tourn, M.; Soza, E.; Rosatto, H.; Gili, A.; Ressia, J.; Rivero, D.; Vásquez, J.; Stadler, S. (2007). Aplicación del tráfico controlado en la cosecha de maíz (*Zea mays L.*): Efecto sobre rendimientos del cultivo y las propiedades físicas del suelo. *Agro-Ciencia* 23(1): 23-29
- Bravo, C; Andreu, E. (1995). Propiedades físicas y producción de maíz (*zea mays L.*) en un Alfisol del estado Guarico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Venesuelos* 3(29): 62-68
- Claro, A; Milagros, M; Hernández, S; Somoza, V; Sánchez, L. (2000). Efecto de la compactación del suelo en la producción

- de frijol. *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 53-57
- Delmonte, R; Maia, J; Oliveira, O; Roque, C. (2010). Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. *Eng. Agric* 30(2): 307-314
- Díaz, M; Barraco, M; Álvarez, C. (2004). Efectos de doce años de labranzas en un Hapludol del Noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del suelo* 22(1): 11-18
- Dorner, J; Dec, D; Peng, X, Horn, R. 2009. Efecto del cambio de uso en la estabilidad de la estructura y la función de los poros de un andisol (Typichapludand) del sur de Chile. *Rev. Cienc. Suelo Nutr. / J. Soil. Sci. PlantNutr.* 9(3): 190-209
- Elissondo, E; Costa, J; Suero, E; Fabrizzi, K; Garcia, F. (2001). Evaluación de algunas propiedades físicas de suelos luego de la introducción de labranza verticales en suelo bajo siembra directa. *Ciencia del suelo* 19(1):11-19
- Euskadi. (2011). Compactación del suelo. País Vasco. Red de portales de la Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Consultado el 24 de mayo de 2017. Disponible en: [http://www.euskadi.net/r33-2288/es/contenidos/informacion/suelo/es\\_1044/compactacion.html](http://www.euskadi.net/r33-2288/es/contenidos/informacion/suelo/es_1044/compactacion.html)
- García, I; Sánchez, M; Vidal, M; Betancourt, Y; Rosa, J. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista ciencias técnicas agropecuarias* 19(2): 51-56
- Gómez, K. (2011). Incidencia de la compactación ocasionada por el tractor en las propiedades físicas en un andisol. Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de magister en ingeniería- ingeniería agrícola. Bogotá- Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Pp 1-90
- González, M., y Nogues, E. (2012). Pisoteo animal y su efecto en la densidad aparente del suelo en un Haplustol franco arenoso bajo diferentes manejos. *Rev. Divulg. Técnic. Agríc. Agroind*, 31, 1-9.
- Hossne, A; Mayorca, Y; Salazar, L; Subero, F; Zacillo, A. (2009). Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. *UDO Agrícola* 9(4): 937- 950
- Jorajuria, D; Draghi, L. (2000). Sobre compactación del suelo agrícola Parte I: influencia diferencial del peso y del número de pasadas. *Revista Brasileira de Engen haría Agrícola e ambiental* 4(3): 445-452
- Jiménez, J. (2002). Manual práctico para el cultivo de la papaya hawaiana. 1° ed. Earth. Costa rica. Páginas 108
- Martínez, D; Landini, A; Soza, E; Heredia, O; Sainato, C. (2010). Efecto del pisoteo animal sobre las propiedades de un suelo. Parte I: densidad aparente, humedad, resistencia a la penetración, y modelos asociados. *Agrociencia, Revista chilena ciencia agropecuaria* 27(1): 5-14
- Pinzón A; Amézquita, E. (1991). Compactación de suelos por pisoteo de animales en potreros en piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas tropicales* 13(2): 21 - 26.
- Terminiello, A; Balbuena, R; Claverie, J; Casado, J. (2000). Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental* 4(2): 290-293
- Sepúlveda, R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia* 43(3): 231- 239