

Propiedades físicas del suelo y su relación con la plasticidad en un sistema bajo labranza tradicional y no labranza

Jazmín María de los Dolores Hernández-Sánchez¹

Benjamín Figueroa-Sandoval^{2§}

Mario R. Martínez Menes¹

¹Programa de Hidrociencias-*Campus* Montecillo-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 35.5, Montecillo, Estado de México, México. CP. 56230. (hernandez.jazmin@colpos.mx; mmario@colpos.mx). ²Programa de Innovación en el Manejo de Recursos Naturales-*Campus* San Luis Potosí-Colegio de Postgraduados. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, San Luis potosí, México. CP. 78600.

§Autor para correspondencia: benjamin@colpos.mx.

Resumen

Los sistemas de labranza generan cambios sobre las propiedades del suelo, como la distribución del tamaño de partículas (DTP), estructura y contenido de materia orgánica (MO), lo que a su vez altera la plasticidad (límites de Atterberg), propiedad que brinda información sobre el comportamiento mecánico del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar las relaciones entre los límites de Atterberg, la DTP y el contenido de MO en un suelo bajo labranza tradicional (LT) y no labranza (NL). Las muestras fueron tomadas de la capa superficial del suelo. Para ambas parcelas se determinó el límite líquido (LL), límite plástico (LP), índice de plasticidad (IP), contenido de MO y DTP. La NL presentó una mayor proporción de macroagregados con respecto a microagregados en comparación con la LT (89.16 y 85.59% respectivamente). No hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de MO entre tratamientos, siendo mayor para LT (4.2%) con respecto a NL (4.1%), como resultado de que bajo el sistema de NL existe una rotación de cultivos que disminuye el residuo superficial, mientras que bajo la LT se realiza la incorporación de los residuos de cosecha. El LL e IP presentaron correlación con el contenido de arcilla (0.6 y 0.4 respectivamente), pero no para el contenido de MO y contrario a lo que indica la literatura. Se concluye que el contenido de MO por sí mismo, no es un indicador suficiente de los límites de Atterberg, por lo que se recomienda que para próximas investigaciones se determine el grado de descomposición, calidad y disposición de la MO respecto a las partículas minerales de la matriz del suelo.

Palabras clave: distribución de tamaño de partículas, labranza, límites de Atterberg, materia orgánica.

Recibido: diciembre de 2018

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

El suelo es uno de los principales componentes de los agroecosistemas al ser la base para la producción de alimentos, siendo fundamental su manejo, uso adecuado y conservación (Navarro, 2010). Los sistemas de labranza tienen como objetivo modificar las relaciones suelo-aire y suelo-agua al alterar la estructura del suelo (Marcano, 1998, citado por Delgado *et al.*, 2010). Una forma de cuantificar los cambios asociados al laboreo, para diseñar mejores prácticas de manejo, son los indicadores de la calidad del estado actual del suelo (Panayiotopoulos *et al.*, 2004).

La distribución del tamaño de partículas (DTP), estructura, porosidad y contenido de materia orgánica (MO) determinan la retención y flujo de agua, aeración del suelo, temperatura, contracción-expansión, plasticidad y resistencia. Todas estas propiedades influyen en el crecimiento y desarrollo de raíces (Gliński y Lipiec, 1990), mientras que algunas de ellas determinan la susceptibilidad del suelo a la compactación y erosión (Panayiotopoulos *et al.*, 2004).

Respecto a las propiedades mecánicas de los suelos, se han reportado relaciones entre la consistencia del suelo, contenido de MO y arcilla. Los límites de Atterberg [límite plástico inferior o límite plástico (LP) y límite plástico superior o límite líquido (LL)] se definen como un rango en el contenido de humedad en el que el suelo tiene una consistencia plástica (Campbell, 1991).

El suelo bajo un contenido de humedad por debajo del LP presenta un comportamiento frágil, mientras que, por encima de un contenido de humedad del LL, el suelo se comporta como un líquido y puede fluir (Keller y Dexter, 2012). La diferencia entre el LL y LP se denomina índice de plasticidad (IP). De acuerdo a Terzaghi *et al.* (1988) los límites de Atterberg son necesarios para evaluar los efectos a largo plazo del uso del suelo y el impacto de la labranza sobre el comportamiento mecánico del suelo.

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar relaciones entre los límites de Atterberg, la DTP y el contenido de MO en un suelo bajo labranza tradicional (LT) y no labranza (NL), bajo la hipótesis de que la labranza altera el comportamiento mecánico del suelo al modificar los límites de Atterberg como respuesta al cambio de contenido de MO y DTP.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en otoño de 2016 en el *Campus* Montecillo del Colegio de Postgraduados, Texcoco, ubicado a 19° 28' 4.26" de latitud norte y 98° 53' 42.18" de longitud oeste, a una altitud de 2 250 m. La precipitación media anual es de 550 mm, el suelo es un *Typic ustifluvent* (Gutiérrez y Ortiz, 1999) de origen aluvial y lacustre, de textura migajón arcillo limoso, moderadamente drenado. El terreno bajo NL se ha mantenido en este sistema durante 19 años, periodo durante el cual la cantidad de residuos que permanecen en la superficie del suelo ha sido baja o nula; asimismo, se estableció un sistema agroforestal [planta perenne chabacano (*Prunus armeniaca* L.)] con una secuencia de rotación con cultivo anuales de gramíneas [trigo (*Triticum sativum* Lam.), avena (*Avena sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.)], leguminosas [frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), haba (*Vicia faba* L.) y veza (*Vicia sativa* L.)] y oleaginosas [cártamo (*Carthamus tinctorius* L.)] para producción de grano y forraje. Por su parte, la parcela bajo LT ha sido sembrada con rotación de maíz en el ciclo primavera-verano y avena en otoño-invierno por el mismo período de tiempo.

Se tomaron 21 muestras de suelo por cada parcela, distribuidos sistemáticamente, a una profundidad de 10 cm. Una vez colectadas las muestras de suelo se secaron al aire durante una semana y se realizaron las siguientes determinaciones: DTP, contenido de MO y límites de Atterberg.

La DTP se realizó en muestras de 1 200 g (peso seco), que se fraccionaron utilizando un juego de 9 tamices (19, 9.5, 4.75 y 2 mm, 825, 425, 250, 149 y 74 μm) y un agitador mecánico. El tiempo de agitación fue de 5 min para cada muestra. El material retenido en cada tamiz se pesó y para cada clase de tamaño se calculó la proporción de peso retenido con respecto al peso total de la muestra. Posteriormente, la porción de suelo que pasó por el tamiz de 74 μm (50 g), se utilizó para determinar el diámetro de la fracción fina, mediante el método del hidrómetro (Day, 1965) realizando lecturas a los 40 s, 2 y 4 h. El cálculo del diámetro medio ponderado de los agregados (DMP) se determinó de acuerdo a Kemper y Rosenau (1986) modificado por Pla (1983) (ecuación 1).

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n D_i \cdot P_i \quad 1)$$

Donde: DMP= diámetro medio ponderado; i= i-ésima clase de tamaño de partícula; n= número total de clases de tamaños de partículas; D_i = diámetro medio de una clase de tamaño dada. P_i = proporción en peso de la i-ésima clase de tamaño de partículas. Se realizó una determinación adicional de la DTP utilizando como dispersante hexametáfosfato y ultrasonido. La muestra de suelo después de haber sido dispersada fue colocada en ultrasonido durante 15 min y se llevó a cabo el procedimiento tradicional del hidrómetro (Day, 1965) para la determinar las fracciones de cada tamaño de partícula. El contenido de MO se determinó mediante el método de pérdida de peso por ignición (Salehi *et al.*, 2011). Los límites de Atterberg fueron determinados con el método tradicional de Casagrande (SRH, 1961; ASTM 4318). Mientras que el índice de plasticidad se determinó mediante la diferencia en porcentaje que hay entre el límite líquido y el límite plástico.

El análisis estadístico se realizó con el software estadístico Statistical Analysis System (SAS); a través, del cual se comprobó la hipótesis de normalidad del conjunto de datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnoff. Se obtuvieron las estadísticas básicas (media, mediana, moda, máximo, mínimo, curtosis, coeficiente de asimetría y coeficiente de variación) y la determinación de coeficientes de correlación de Pearson para cada variable de estudio. El modelo utilizado en el Anova se muestra en la ecuación 2.

$$\widehat{Y} = \mu_{ij} + \tau_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad 2)$$

Donde: \widehat{Y} = valor observado; μ_{ij} = media; τ_{ij} = efecto del tratamiento; ε_{ij} = error experimental; i= tratamiento i-ésimo; y j= valor j-ésimo.

Para la determinación de diferencias significativas o no entre tratamientos se llevó a cabo un análisis de comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha = 0.05$).

Resultados y discusión

Ambos tratamientos (NL y LT) presentan una mayor proporción de material grueso (0.25 - > 2 mm) con respecto a microagregados (< 0.25 mm), como se muestra en el Cuadro 1. El sistema bajo NL presenta mayor proporción de macroagregados (89.16%) que la LT (85.59%), siendo diferente

la NL para los diámetros promedio 4.75, 2 y 0.425 mm. La LT tiene mayor proporción de microagregados (14.39%) que la NL (10.84), siendo diferentes solo para los diámetros promedio 0.15, 0.06, 0.002 y 0.001 mm. Estos resultados concuerdan con Madari *et al.* (2005) en Ferrasoles de Brasil, bajo diferentes manejos (NL y LT), Castro *et al.* (2002) en Latosoles y Hontoria (2015). El DMP es mayor para NL con respecto a LT, lo cual coincide con lo planteado por Roth *et al.* (1991) y Castro *et al.* (1998) para Ferrasoles bajo dos sistemas de labranza, aunque estos autores reportan diferencias significativas entre tratamientos.

Cuadro 1. Distribución de tamaño partículas con respecto al diámetro promedio de tamiz.

Diámetro promedio (mm)	NL (%)	LT (%)	CV (%)
25.4	1 ^A	0.9 ^A	117.8
12.57	3.4 ^A	3.3 ^A	50.6
4.75	20.7 ^A	17.5 ^B	24.3
2	33.6 ^A	31 ^B	10.5
0.825	19.5 ^A	20.9 ^A	13.6
0.425	10.4 ^B	11.8 ^A	18.8
0.25	0.6 ^A	0.4 ^A	95
0.149	4.3 ^B	5.8 ^A	30.5
0.074	2.7 ^A	3.8 ^A	49.4
0.0625	0.6 ^B	0.7 ^A	24.2
0.031	2.2 ^A	2.5 ^A	22.5
0.002	0.8 ^B	1.3 ^A	27.8
0.001	0.2 ^B	0.3 ^A	30.5
DMP (mm)	4.1 ^A	3.8 ^A	-

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMP= diámetro medio ponderado.

Por su parte el Cuadro 2, muestra la DTP para cada tratamiento realizado por el método convencional de Bouyoucos (Bou) y Bouyoucos en combinación con ultrasonido como dispersante (Bult). Para el método de Bouyoucos se observa mayor proporción de arenas y arcilla en LT en comparación con NL, el contenido de limos es mayor para NL. Los resultados anteriores, resultan ser inconsistentes debido a que el experimento se realizó sobre el mismo tipo de suelo, esto podrían deberse a que el método de dispersión utilizado no logra la separación máxima de las partículas al estar fuertemente ligadas entre sí en el caso de NL.

Por lo que adicionalmente se llevó a cabo la determinación de partículas utilizando nuevamente Bouyoucos, pero dispersando el suelo con hexametáfosfato y ultrasonido, encontrándose que no existen diferencias significativas entre el sistema bajo NL y LT en ninguna de las fracciones de tamaño de partículas. Se verifica que no ha cambiado la matriz del suelo y las diferencias obtenidas entre tratamientos con el método de se debe a una mayor resistencia a la dispersión con el método tradicional de Bouyoucos de las partículas de arcilla originada por la materia orgánica más íntimamente mezclada en la NL.

Videla y Trivelin (2008) indican que si bien la dispersión de los suelos por agitación con agua ha sido usada para aislar primariamente fracciones orgánico-minerales, éste método no asegurara la completa desintegración de microagregados, principalmente en suelos con predominio de cationes

bivalentes (Ca y Mg) y arcilla de tipo 2:1 como agentes cementantes, recomendado por ello la combinación de ambos métodos, sometiendo a ultrasonido los constituyentes minerales del suelo ya separados (luego de dispersión y agitación).

Cuadro 2. Distribución de tamaño de partículas para cada tratamiento (Bouyoucos y Bouyoucos con ultrasonido).

	Estadístico	Media	Sd	Asm	CV	Curtosis	Me	Moda	Máx.	Mín.	
Bouyoucos	Arena (%)	NL	14.9 ^{A, B}	1.5	0.7	9.8	-0.5	13.9	13.9	17.9	13.3
		LT	15.4 ^{A, B}	1.4	-0.4	9.1	0.9	16	16	18	12
	Limo (%)	NL	57.8 ^{A, A}	2.4	0.3	4.1	0.2	58	59.4	63.4	53.4
		LT	52.3 ^{B, A}	2.8	0.4	5.4	-0.1	52.7	52.7	58.7	48
	Arcilla (%)	NL	27.3 ^{B, B}	2.3	-0.1	8.4	-0.7	26.7	28.7	31.4	22.7
		LT	32.3 ^{A, B}	2.6	-1.1	7.9	1.6	33.3	33.3	36	25.3
Bouyoucos, Ultrasonido	Arena (%)	NL	28 ^{A, A}	2.6	0.7	9.3	0	28	NS	31.8	25.3
		LT	26.6 ^{A, A}	2.1	0.7	8	-1.6	25.8	NS	29.6	24.6
	Limo (%)	NL	26.8 ^{A, B}	1.1	-0.4	4.1	-1.1	26.7	NS	28	25.3
		LT	27.9 ^{A, B}	5.1	0.2	18.1	-2.9	27	NS	33.6	23
	Arcilla (%)	NL	45.2 ^{A, A}	2.7	-0.8	5.9	-1.4	46.7	46.7	47.7	41.4
		LT	45.5 ^{A, A}	3.7	-0.5	8.2	-3.2	47.4	41.4	48.7	41.4

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). La primera letra indica diferencia entre tratamientos para el mismo método y la segunda letra indica diferencias entre tratamientos para diferentes métodos. Sd= desviación estándar; Asm = asimetría; Me= mediana.

A diferencia de la mayoría de los estudios sobre MO que señalan un mayor contenido en NL con respecto a LT (Logan, 1991; Hernández y López, 2002), en el suelo bajo estudio no existieron diferencias significativas, siendo mayor el contenido de MO para LT en comparación con NL. Lo anterior, asociado a que actualmente en el sistema bajo NL no se realiza la incorporación de residuos, aunado a que durante el periodo de primavera-verano se realizó la incorporación de residuos de veza (*Vicia sativa* L.) sobre el sistema bajo LT. De acuerdo a Kenney *et al.* (2015), la remoción 75% de residuos disminuye el contenido de C en los 5 cm del suelo, siendo la capa superficial del suelo más sensible a la remoción de los residuos (Jin *et al.*, 2015), disminuyendo el contenido de MO en todas las fracciones de agregados del suelo (Hammerbeck *et al.*, 2012).

El valor promedio del LL para la LT es mayor con respecto a la NL, presentado diferencias entre tratamientos. Lo anterior, está relacionado con el contenido de arcilla para cada sistema de labranza, pues Keller y Dexter (2012) mencionan que el comportamiento mecánico del LL está fuertemente controlado por el área superficial de las partículas y por lo tanto el LL tiene una relación directa con el contenido de arcilla en un suelo. Por su parte, el IP muestra valores promedio mayores en LT en comparación con NL, además de presentar diferencias significativas entre tratamientos y relacionándose nuevamente con el contenido de arcilla en el suelo (Cuadro 3).

De acuerdo a Mitchell (1993), citado por Seybold *et al.* (2008), en general, cuanto mayor es la cantidad de arcilla en un suelo, mayor será la plasticidad, el encogimiento e hinchamiento potenciales. Por su parte, el LP es mayor para NL con respecto a LT, clasificando al suelo como moderadamente plástico para ambos tratamientos (Lora, 1998). Sin embargo, el valor promedio

mayor para NL, indica que este suelo es transitable bajo un contenido de agua más alto. El suelo del sistema bajo LT es propenso a la compactación inducida por vehículos a un contenido de agua menor (Blanco-Canqui *et al.*, 2006).

Cuadro 3. Estadísticas básicas para diámetro medio ponderado, límites de Atterberg y contenido de materia orgánica.

Estadístico	DMP (mm)		LL (%)		LP (%)		IP (%)		MO (%)	
	NL	LT	NL	LT	NL	LT	NL	LT	NL	LT
Media	4.1 ^A	3.8 ^A	44.9 ^B	48.1 ^A	31.4 ^A	30.5 ^A	13.4 ^B	17.6 ^A	4.1 ^A	4.2 ^A
SD	0.6	0.8	2.5	1.7	2.8	2.9	2.3	3.4	0.3	0.2
Asimetría	-0.1	0.3	1	0.1	0.5	-0.5	0.1	0.7	-0.1	4.5
CV	13.4	21.1	5.6	3.6	8.8	9.4	17.1	19.1	7.1	4.9
Curtosis	0.1	-0.7	0.5	-0.7	-0.5	-0.5	-0.7	0.3	8.3	20.6
Mediana	4.1	3.7	44.4	47.9	30.7	30.9	13.4	16.7	4.1	4.1
Moda	4	3.8	SN	SN	SN	SN	SN	SN	4.1	4.1
Máx.	5.3	2.6	58.7	51.6	37.5	35.4	13.7	24.9	5	5.1
Mín.	3	5.4	41.4	45	27.6	25	9.2	11.7	3.2	4.1

Medias con distinta letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). DMP= diámetro medio ponderado; LL= límite líquido; LP= límite plástico; IP= índice de plasticidad; MO= materia orgánica.

El Cuadro 4 muestra los coeficientes de correlación de Pearson obtenidos; a través, de la construcción de una matriz con las variables de estudio. El LP presenta los coeficientes de correlación más altos con respecto a las variables estudiadas en comparación con el LL, en contraste a lo reportado en otros estudios que muestran coeficientes de correlación más bajos para el LP con respecto al LL (Dc Jong *et al.*, 1990; Seybold *et al.*, 2008). El LL muestra una alta correlación para el contenido de arcilla-Bou e IP, correlación negativa para el contenido de limo-Bou al igual que Seybold *et al.* (2008), además de mostrar correlación para el contenido de arena-Bult. Similar a Dc Jong *et al.* (1990), el LP presenta una correlación negativa con el IP, no se muestra correlación con el contenido de arenas y limos, mientras que el IP muestra una correlación media con el contenido de arcilla-Bou.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación para límites de Atterberg, contenido de arena, limo y arcilla para ambos métodos (Bouyoucos y Bouyoucos con ultrasonido).

	LL	LP	IP	MO	Arena Bou	Limo Bou	Arcilla Bou	Arena Bult	Limo Bult	Arcilla Bult
LL	1									
LP	0.3	1								
IP	0.5	-0.7	1							
MO	0	-0.2	0.2	1						
Arena Bou	0.1	-0.2	0.2	-0.2	1					
Limo Bou	-0.5	0	-0.4	0	-0.4	1				
Arcilla Bou	0.6	0	0.4	0.1	0	-0.9	1			
Arena Bult	-0.5	-0.1	-0.4	-0.3	0	0.1	-0.2	1		
Limo Bult	0.3	-0.1	0.4	-0.1	0.3	0.1	0.1	-0.5	1	
Arcilla Bult	0	-0.1	-0.1	0.4	-0.4	0.1	0	-0.2	-0.7	1

LL= límite líquido; LP= límite plástico; IP= índice de plasticidad; MO= materia orgánica; Bou= se refiere al Bouyoucos; Bult= Bouyoucos en combinación con ultrasonido.

Valores de correlación bajos se obtuvieron para el contenido de MO y las demás variables, con excepción del contenido de arcilla-Bult. Por otra parte, el contenido de arcilla-Bou en el suelo mostró una cercana relación con los límites de Atterberg. Estudios realizados en suelos británicos reportan que el contenido de arcilla en el suelo fue altamente correlacionado con el LL y en menor grado con el LP (Farrar y Coleman, 1967; Keller y Dexter, 2012; Salahedin, 2013), mientras que Larnev *et al.* (1988) encontró correlaciones débiles entre el contenido de arcilla y el LP, contrastando con lo encontrado para el presente estudio.

Los coeficientes de correlación obtenidos para la MO con respecto al LP, LL e IP no son significativos. Sin embargo, los resultados reportados en la literatura sobre el contenido de MO en la plasticidad del suelo son inconsistentes. De Jong *et al.* (1990), encontró efectos positivos sobre la MO, LL e IP, pero no para el LP, al igual que Stanchi *et al.* (2009) entre el contenido de MO, LP y LL, pero no sobre IP en suelo montañosos de Italia.

Blanco-Canqui *et al.* (2006), reportó que el manejo del suelo afecta significativamente la consistencia del suelo, encontrando correlaciones positivas entre MO, LL, LP e IP, para suelos agrícolas. Por su parte, Seybold *et al.* (2008) no percibió efectos significativos sobre MO, LL y IP, así como Keller y Dexter (2012), quienes indican que si bien existen varios estudios que demuestran la relación entre el contenido de MO y los límites de Atterberg. Se debe considerar que, al referirse a la materia orgánica del suelo, se debería especificar el contenido de MO que se ha descompuesto y humificado *in situ* y para diferenciarla de la MO recién agregada que puede estar en forma fibrosa o en forma de partículas y que puede estar localizada de forma diferente en la matriz del suelo.

Conclusiones

La matriz del suelo para ambos tratamientos es la misma, no observando diferencias significativas entre LT y NL al realizar la determinación de distribución de tamaño de partículas utilizando como dispersante hexametafosfato en combinación con ultrasonido, confirmado que la combinación de métodos logra el máximo fraccionamiento de las partículas minerales en el suelo. El contenido de materia orgánica entre tratamientos, no contemplaron diferencias significativas, siendo mayor para LT en comparación con NL, lo anterior, relacionado a la no incorporación de residuos en el sistema bajo NL y a la incorporación de *Vicia sativa* L., durante el ciclo de primavera-verano para LT. El límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad examinaron una mayor correlación con el contenido de arcilla y no así con el contenido de materia orgánica, concluyendo que la materia orgánica *per se* no influye directamente sobre los límites de Atterberg. Para estudios posteriores, se recomienda realizar pruebas que involucren la determinación del tipo de residuos, tasa de descomposición y calidad de la materia orgánica con respecto a las partículas minerales del suelo.

Literatura citada

- Blanco, C. H.; Lal W. R.; Post. M.; Izaurrealde, R. C. and Shipitalo, M. J. 2006. Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70(4):1407-1414.
- Campbell, D. J. 1976. Plastic limit determination using a drop-cone penetrometer. *J. Soil Sci.* 27(5):295-300.

- Castro, F. C.; Lorenço, A.; Guimarães, M. de F. and Fonseca, I. C. B. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil Till. Res.* 65(1):45-51.
- Day, P. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. Part 1. *In*: Black, C. A. (Ed.). *Method of soil analysis*. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, USA. 565-566 pp.
- Dc Jong, E.; Acton, D. F. and Stonehouse, H. B. 1990. Estimating the Atterberg limits of Southern Saskatchewan soils from texture and carbon contents. *Can. J. Soil Sci.* 70(4):543-554.
- Delgado, R.; Cabrera de Bisbal, E.; Gamez, F. y Navarro, L. 2010. Efecto del tipo de labranza sobre el suministro del agua y el crecimiento del frijol Tuy en un suelo Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 60(2):177-191.
- Dexter, A. R.; Richard, G.; Arrouays, E.; Czyż, A.; Jolivet, C. and Duval, O. 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma.* 144(3-4):620-627.
- Farrar, D. M. and Coleman, J. D. 1967. The correlation of surface area with other properties of nineteen British clay soils. *J. Soil Sci.* 18(1):118-124.
- Gliński, J. and Lipiec, J. 1990. *Soil physical conditions and plant roots*. CRC Press, Boca Raton. FL: CRC Press. 260 p.
- Gutiérrez, C. Ma. C. y Ortiz, S. C. A. 1999. Origen y evolución los suelos del ex lago de Texcoco, México. *Agrociencia.* 33(2):199-208.
- Hammel, J. E. M.; Sumner, M. E. and Burema, J. 1983. Atterberg limits as indices of external surface areas of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47(5):1054-1056.
- Hammerbeck, A. L.; Stetson, S. J.; Osborne, S. L.; Schumacher, T. E. and Pikul, J. L. 2012. Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76(4):1390-1398.
- Hernández, H. R. M. y Hernández, L. D. 2002. El tipo de Labranza como agente modificador de la materia orgánica: un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales venezolanos. *Interciencia.* 27(10):529-536.
- Hontoria, C.; Gómez, P. C. I.; Mariscal, S. M. B.; Pérez, J. and Espejo, R. 2016. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. *Soil Till. Res.* 160:42-52.
- Keller, T. and Dexter, A. R. 2012. Plastic limits of agricultural soils as functions of soil texture and organic matter content. *Soil Res.* 50(1):7-17.
- Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In*: Klute, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, WI. 425-442 pp.
- Kenney, I.; Blanco, C. H.; D. R. Presley, D. R.; Rice, C. W.; Janssen, K. and Olson, B. 2015. Soil and crop response to stover removal from rainfed and irrigated corn. *GCB Bioenergy.* 7(2):219-230.
- Larney, F. J.; Fortune, R. A. and Collins, J. F. 1988. Intrinsic soil physical parameters influencing intensity of cultivation procedures for sugar beet seedbed preparation. *Soil Till. Res.* 12(3):253-267.
- Logan, T. J.; Lal, R. and Dick, W. A. 1991. Tillage systems and soil properties in North America. *Soil Till. Res.* 20(2-4):241-270.
- Lora, R. 1998. Propiedades físicas y químicas de los suelos. *In*: Encuentro Nacional de Labranza de conservación. Villavicencio, Colombia. Memorias. (Ed.). Guadalupe. Colombia.
- Madari, B.; Machado, P. L. O. A.; Torres, E.; de Andrade, A. G. and Valencia, L. I. O. 2005. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil Till. Res.* 80(1-2):185-200.

- McBride, R. A. 1989. A re-examination of alternative test procedures for soil consistency limit determination: ii. A simulated desorption procedure. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53(1):184-191.
- Navarro, B. A. 2010. Indicadores físicos de un suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. 125 p.
- Panayiotopoulos, K. P.; Kostopoulou, S. and Hatjiyiannakis, E. 2004. Variation of physical and mechanical properties with depth in Alfisols. *Int. Agrophysics.* 18(1):55-63.
- Pla, I. 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance.* 32(33):15-91.
- Roth, C. H.; Castro F. C. e de Mediros, G. B. 1991. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. *Rev. Bras. Ci. Solo* 15(3):241-248.
- Salahedin, M. 2013. Impacts of organic carbon on consistency limits in different soil textures. *Inter. J. Agric. Crop Sci.* 5(12):1381-1388.
- Salehi, M. H.; Hashemi, B. O.; Beigi, H. H.; Esfandiarpour, B. I. and Motaghian, H. R. 2011. Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. *Pedosphere.* 21(14):473-482.
- Seybold, C. A.; Elrashidi, M. A. and Engel, R. J. 2008. Linear regression models to estimate soil liquid limit and plasticity index from basic soil properties. *Soil Sci.* 173(1):25-34.
- SRH. 1961. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Mecánica de suelos. Instructivo para ensaye de suelos. Dirección de estudios y proyectos. Departamento de Ingeniería Experimental. México.
- Stanchi, S.; Oberto, E.; Freppaz M. and Zanini, E. 2009. Linear regression models for liquid and plastic limit estimation in Alpine soils. *Agrochimica.* 53(5):322-338.
- Terzaghi, A.; Hoogmoed, W. B. and Miedema, R. 1988. The use of the wet workability limit to predict the land quality workability for some Uruguayan soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 36:91-103.
- Videla, C. y Trivelin, P. C. O. 2008. Influencia del método de dispersión del suelo en la calidad de materia orgánica separada por fraccionamiento Granulométrico. *Nota. CI. Suelo (Argentina)* 26(1):97-103.