

## SUBPRODUCTOS DEL TABACO Y DE TUNG COMO ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ULTISOL

### Tobacco sticks and tung expeller as organic amendments on an Ultisol physical properties

Alicia E. Castillo<sup>1</sup>\*, Darío C. Gauna<sup>1</sup>, Humberto C. Dalurzo<sup>1</sup> y Sergio R. Fernández<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

An experiment was done to determine changes in the soil physical properties at two depths on a Typical Kandihumult of Misiones, Argentina, after tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) sticks and tung (*Aleurites fordii* Hemsl.) expeller applications, in a randomized complete block design. The granulometric analysis gave a clay textural class. Soil organic matter (MOS) content decreased as depth increased, with levels between 4.6 and 4.8% in amended treatments, being significantly different with the control 3.6% ( $P < 0.05$ ). Aggregate stability decreased in all treatments, and was positively correlated with MOS ( $r = 0.387$ ;  $P < 0.0002$ ) according to the regression equation: aggregate stability =  $35.76 + 6.03$  MOS;  $r^2 = 0.15$  ( $P < 0.0002$ ). Highest levels (74%) were obtained from surface, with the tobacco sticks application ( $P < 0,05$ ). Penetration resistance was lowest for the tung expeller in all depths, the lowest basic infiltration was found in control. Beneficial changes were found in MOS and aggregate stability with the amendments applications. Tung expeller ameliorated the total soil porosity and penetration resistance, avoiding soil degradation and erosion.

**Key words:** Kandihumult, physical properties, tung expeller, *Aleurites fordii* Hemsl., tobacco sticks, *Nicotiana tabacum* L.

#### RESUMEN

Se realizó un ensayo para determinar los efectos de cambios sobre las propiedades físicas de un suelo Kandihumult Típico en Misiones, Argentina, por el agregado de palillos de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y expeler de tung (*Aleurites fordii* Hemsl.) en un diseño en bloques completos al azar y a dos profundidades. El análisis granulométrico indicó una clase textural arcillosa. Los contenidos de materia orgánica del suelo (MOS) disminuyeron con la profundidad, y los tratamientos con enmiendas presentaron valores entre 4,6 y 4,8%, estadísticamente superiores al testigo con 3,6% ( $P < 0,05$ ). La estabilidad de los agregados disminuyó en todos los tratamientos con la profundidad, y se correlacionó positivamente con la MOS ( $r = 0,387$ ;  $P < 0,0002$ ) y respondió a la siguiente ecuación de regresión: estabilidad de agregados =  $35,76 + 6,03$  MOS;  $r^2 = 0,15$  ( $P < 0,0002$ ). Los valores mayores (74%) se obtuvieron superficialmente (0-10 cm), con el aporte de palillo de tabaco ( $P < 0,05$ ). La resistencia a la penetración de raíces fue menor para el tratamiento con expeler de tung en todas las profundidades evaluadas, el menor valor de infiltración básica se registró en el tratamiento testigo. El agregado de estas enmiendas produjo cambios favorables al suelo en el contenido de materia orgánica y estabilidad de agregados. El uso del expeler de tung benefició, además, la porosidad total del suelo y la resistencia a la penetración, lo que disminuiría la degradación y el peligro de erosión del suelo.

**Palabras clave:** Kandihumult, propiedades físicas, expeler de tung, *Aleurites fordii* Hemsl., palillo de tabaco, *Nicotiana tabacum* L.

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Sargento Cabral 2131 (3400), Corrientes, Argentina.  
E-mail: castillo@agr.unne.edu.ar

\*Autor para correspondencia.

Recibido: 10 de enero de 2003. Aceptado: 14 de mayo de 2003.

## INTRODUCCIÓN

La materia orgánica del suelo (MOS) cumple un rol importante en el mantenimiento de sus características físicas y químicas, contribuyendo a la fertilidad del suelo. La mineralización de la MOS contribuye a la liberación de los nutrientes, esenciales para la sustentabilidad de la producción agrícola, mientras que la conservación de las propiedades físicas convenientes dependen de la persistencia de la MOS (Shang y Tiessen, 1998). La MOS contribuye a una mejor agregación y estructuración del suelo, produciendo una reducción de la densidad aparente, mejorando la conductividad hidráulica, la infiltración y retención de agua. La fauna presente en el suelo depende de ella para alimentarse, y al mezclarla con el suelo forman galerías otorgándole una mejor condición física (Alegre *et al.*, 1996).

Sánchez (1981) encontró que en muchos Ultisoles ubicados en climas tropicales y subtropicales húmedos, con pendientes elevadas, el mal manejo de los suelos altera sus propiedades físicas e incrementa la susceptibilidad a la erosión. El mal manejo afecta la estructura del suelo generando problemas de compactación, se incrementa la densidad aparente con una reducción simultánea de la porosidad, entre otras propiedades físicas, químicas y biológicas (Gupta *et al.*, 1989; Raghvan *et al.*, 1990; Sanstructová *et al.*, 1993).

Shang y Tiessen (1998) mencionaron que los residuos vegetales se descomponen cinco veces más rápido bajo condiciones tropicales que en las templadas, sin embargo, Tiessen *et al.* (1994), luego de cultivar suelos tropicales, observaron que la tasa de mineralización de la MOS fue diez veces superior que en suelos templados.

Los suelos rojos de la Provincia de Misiones, Argentina, se han formado mediante procesos de alteración geoquímica prolongada (SAGyP, 1990), y las arcillas de baja actividad que los constituyen determinan que las propiedades químicas y biológicas de los horizontes superficiales sean dependientes del contenido de materia orgánica, por lo que la aplicación de residuos orgánicos es una alternativa para restituir su falta (Feller *et al.*, 1992).

Experiencias realizadas en suelos rojos de Misiones han aportado información acerca de los efectos de la aplicación de abonos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal (verdes, residuos de cosechas, desechos industriales, etc.), los que aplicados en un volumen de 4 a 20 t ha<sup>-1</sup>, han recuperado suelos con avanzados procesos erosivos (Oliver, 1994; Piccolo, 1995). Con la implantación de abonos verdes se logró la recuperación de un suelo degradado Kandudult Típico de Misiones, mejorando la porosidad y revirtiendo la compactación subsuperficial (Morrás y Piccolo, 1996, INTA. Comunicación personal).

Satur (1996) encontró cambios favorables en las propiedades físicas de un Ultisol de Misiones, con el agregado de palillos de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) y expeller de tung (*Aleurites fordii* Hemsl.), a razón de 5 t ha<sup>-1</sup>. Dichos materiales corresponden a subproductos industriales empleados como enmiendas orgánicas. El palillo de tabaco corresponde a las nervaduras centrales de sus hojas y pecíolos, y el expeller de tung, es el material resultante del prensado de la semilla para la obtención de aceite industrial.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de palillos de tabaco y de expeller de tung en las propiedades físicas de un Ultisol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Departamento Leandro N. Alem (27°39' lat. Sur y 55° 29' long. Oeste), Provincia de Misiones, Argentina. La temperatura media anual es de 20,8°C, con un promedio mensual máximo en enero de 25,5°C, y mínimo en julio de 15,6°C; la precipitación media anual es de 1.970 mm, sin estación seca. El área en estudio se destina en la actualidad a la producción de cultivos perennes sin riego, como yerba mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hil.), té (*Camellia sinensis* L.), y cítricos (*Citrus* spp.), entre otros. El suelo corresponde a un Kandihumult Típico, familia arcillosa, muy fina, caolinítica e hipertérmica, cuyas características se describen en el Cuadro 1. Estos suelos se caracterizan por su buena estructura y condiciones físicas, y a pesar

de sus elevados contenidos de arcilla, presentan algunos comportamientos como el movimiento del agua similar a suelos arenosos, por lo cual se los denomina pseudoarenas. Los contenidos de nutrientes son bajos. Las pendientes son elevadas, lo que sumado a las condiciones climáticas de la región, de elevadas temperaturas y precipitaciones, aumenta el peligro de erosión, especialmente cuando el manejo del suelo no es el apropiado.

Se estableció un diseño en bloques completos al azar con cinco repeticiones. Los tratamientos se ubicaron en cultivos de yerba mate, de 40 años, que representaron las condiciones habituales de manejo de los productores de la zona en intensidad de laboreo y en manejo de enmiendas orgánicas, según se detalla: 1) tratamiento testigo con laboreo convencional del suelo, consistente en una remoción (excesiva) con rastra de discos, para el control de malezas, sin aplicación de enmiendas orgánicas; 2) tratamiento con aplicación de 5 t ha<sup>-1</sup> de expeler de tung, con incorporación a 15 cm de profundidad, que correspondió a las prácticas habituales de la zona, controles de malezas mediante aplicación de herbicidas en la línea de plantación y uso de desmalezadoras de

eje vertical entre los surcos de plantas; y 3) tratamiento con aplicación de 5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de palillo de tabaco, controles de malezas mediante aplicación de herbicidas en la línea de plantación y uso de desmalezadoras de eje vertical entre los surcos de plantas. Ambas enmiendas se aplicaron anualmente durante seis campañas, o temporadas. El tamaño de partículas de las enmiendas empleadas varió entre 2 a 5 cm aproximadamente.

A los dos años de la última aplicación de dichos subproductos industriales, tiempo considerable para la descomposición de los mismos, se muestreó el suelo, tomando por tratamiento 15 muestras compuestas por tres submuestras, a dos profundidades: 0-10 y 10-20 cm, denominadas Te<sub>1</sub> y Te<sub>2</sub> para el tratamiento testigo, Tu<sub>1</sub> y Tu<sub>2</sub>, para el de expeler de tung, y Ta<sub>1</sub> y Ta<sub>2</sub> para el de palillo de tabaco, para cada profundidad, respectivamente, completándose 90 muestras en todo el ensayo. Dichas muestras se secaron al aire, se molieron y se tamizaron por una malla de 2 mm para su posterior análisis.

**Cuadro 1. Propiedades edáficas del tratamiento testigo sin aplicación de enmiendas orgánicas. Misiones, Argentina.**

**Table 1. Edaphic properties from control treatment without amendments application in Ultisols of South Misiones, Argentina.**

Arena, %	15,37
Arcilla, %	65,23
Limo, %	19,40
pH	5,7
MOS, %	3,6
NT, %	0,14
C/N	12,18
P, mg kg <sup>-1</sup>	7,44
Ca, cmol+kg <sup>-1</sup>	6,71
Mg, cmol+kg <sup>-1</sup>	1,80
K, cmol+kg <sup>-1</sup>	0,59
Al, cmol+kg <sup>-1</sup>	1,92
CIC, cmol+kg <sup>-1</sup>	11,26

Los valores corresponden a medias de tres repeticiones.

MOS: materia orgánica del suelo.

NT: Nitrógeno total.

CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

**Trabajo en el terreno:** en forma simultánea al muestreo anterior, se tomaron 30 muestras inalteradas por tratamiento para la determinación de: densidad aparente, por el método del cilindro de Kopecky (Blake y Hartge, 1986) en dos profundidades (0-10 y 10-20 cm); resistencia a la penetración hasta los 30 cm de profundidad usando el penetrómetro de cono (Bradford, 1986); infiltración por el método del anillo doble (Forsythe, 1985), para la obtención de las curvas de esta variable la experiencia se realizó durante 120 min con dos repeticiones por tratamiento. Los valores resultantes se obtuvieron aplicando la fórmula de Kostiakov:  $L = K T^n$ , donde L es el volumen de agua que se infiltra en una unidad de sección transversal de suelo (Montenegro González *et al.*, 1990), el parámetro K está relacionado con el valor de infiltración inicial, dependiendo de la estructura y compactación superficial y de las condiciones iniciales de humedad; el parámetro n está vinculado con la variación de la velocidad de infiltración en función del tiempo (T), y por tanto, relacionado con los cambios de la textura del perfil del suelo y de la estructura por el humedecimiento.

**Determinaciones en laboratorio:** textura por el método de Bouyoucos (Forsythe, 1985); densi-

dad de partículas por el método del picnómetro con empleo de vacío (Montenegro González *et al.*, 1990); estabilidad de agregados (Ea) por el método de Henin (Montenegro González *et al.*, 1990); materia orgánica por el método de Walkley - Black modificado (Nelson y Sommers, 1986).

**Análisis estadístico:** los resultados se sometieron a un ANDEVA, aplicando la prueba de diferencias de medias de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis granulométrico determinó una clase textural arcillosa para todas las muestras en estudio, con valores que variaron entre 63-78% de arcilla, 13-31% de limo y de 2-7% de arena. El tratamiento con palillo de tabaco tenía textura

arcillosa, y se observó mayor rango de variación de sus clases texturales, debido a que en una sola muestra de este tratamiento para ambas profundidades se obtuvieron los más bajos contenidos de arcilla (48%) y mayores de limo (42%), con desviaciones estándares de 6,6 a 8,8 para la primera y segunda profundidad, respectivamente, y de 2,3 a 3,6 para el resto de los tratamientos y profundidades (Cuadro 2).

Los contenidos de MOS disminuyeron con la profundidad, y los tratamientos con enmiendas presentaron superficialmente valores promedios de 4,6 a 4,8% sin diferencias estadísticas entre sí, pero estadísticamente superiores al testigo (3,6%,  $P < 0,05$ ), el cual fue sometido a un laboreo de suelo más intensivo que los anteriores, que corresponde a la práctica de manejo habitual en la

**Cuadro 2. Valores mínimos y máximos de algunos parámetros físicos de los suelos en los tratamientos a dos profundidades de suelo.**

**Table 2. Minimum and maximum values of soil selected physical parameters in two treatments to two soil depths.**

Tratamientos <sup>1</sup>	Parámetro <sup>2</sup>							
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Dr (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (%)	Aer (%)	Ea (%)
Te <sub>1</sub>	0,9 - 8,1	74,3 - 86,4	12,4 - 20,8	0,9 - 1,4	2,9 - 2,9	37,6 - 68,0	32,5 - 63,7	40-90
Te <sub>2</sub>	3 - 13,8	76,4 - 82,6	10,8 - 15,6	0,9 - 1,2	2,0 - 2,9	44,6 - 65,6	40,5 - 62,7	40-80
Tu <sub>1</sub>	0,2 - 7,1	71,4 - 84,7	12,8 - 25,3	0,91 - 1,2	2,2 - 2,9	48,7 - 63,4	42,5 - 61,3	40-90
Tu <sub>2</sub>	1,1 - 6,9	72,7 - 84,0	14,65 - 21,8	0,9 - 1,2	2,2 - 2,9	58,1 - 69,0	54,1 - 63,9	40-60
Ta <sub>1</sub>	0,2 - 14,4	47,6 - 72,1	22,6 - 42,4	0,9 - 1,2	2,3 - 2,7	46,2 - 64,3	41,8 - 62,5	60-90
Ta <sub>2</sub>	0,2 - 11,2	43,7 - 78	18,6 - 45,1	0,90 - 1,1	2,2 - 2,7	51,9 - 65,6	48,3 - 64,60	40-90

<sup>1</sup> Te<sub>1</sub>: testigo (0-10 cm); Te<sub>2</sub>: testigo (10-20 cm); Tu<sub>1</sub>: expeler de tung (0-10 cm); Tu<sub>2</sub>: expeler de tung (10-20 cm); Ta<sub>1</sub>: palillo de tabaco (0-10 cm); Ta<sub>2</sub>: palillo de tabaco (10-20 cm).

<sup>2</sup> Da: densidad aparente; Dr: densidad real; Aer: espacio aéreo; Ea: estabilidad de los agregados.

**Cuadro 3. Comparación de medias de algunas propiedades edáficas entre los tratamientos.**

**Table 3. Means comparisons of some edaphic properties among treatments.**

Trat. <sup>1</sup>	Dr (g cm <sup>-3</sup> )	Da (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidad (%)	Aer (%)	Mat. Org. (%)	Ea (%)
Te <sub>1</sub>	2,60 a	1,07 a	58,75 b	54,35 a	3,6 b	58,0 b
Te <sub>2</sub>	2,60 a	1,06 a	59,40 b	55,35 a	2,7 b	46,6 c
Tu <sub>1</sub>	2,52 a	1,06 a	59,62 b	52,95 a	4,8 a	56,6 b
Tu <sub>2</sub>	2,52 a	0,978 a	60,73 a	58,37 a	3,5 a	52,0 b
Ta <sub>1</sub>	2,49 a	1,00 a	56,60 b	54,35 a	4,6 a	74,0 a
Ta <sub>2</sub>	2,49 a	0,99 a	59,21 b	56,88 a	2,6 b	59,3 b

Letras iguales no presentan diferencias significativas según Test de Tukey ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Te<sub>1</sub>: testigo (0-10 cm); Te<sub>2</sub>: testigo (10-20 cm); Tu<sub>1</sub>: expeler de tung (0-10 cm); Tu<sub>2</sub>: expeler de tung (10-20 cm); Ta<sub>1</sub>: palillo de tabaco (0-10 cm); Ta<sub>2</sub>: palillo de tabaco (10-20 cm).

Da: densidad aparente; Dr: densidad real; Aer: espacio aéreo; Ea: estabilidad de los agregados.

zona, lo cual contribuyó a la mayor descomposición de la MOS. Los aportes de expeler de tung y de palillo de tabaco incrementaron los contenidos de MOS en 33 y 27% con relación al tratamiento testigo, respectivamente. En la profundidad de 10 a 20 cm, el tratamiento con tung presentó los mayores contenidos (3,5%), con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) con el resto de los otros tratamientos, que estuvieron alrededor del 2,6 a 2,7% en promedio (Cuadro 3), debido a que fue incorporado a mayor profundidad (10 a 15 cm) mediante las operaciones de laboreo del suelo. Dalurzo *et al.* (2001) hallaron en suelos rojos de la provincia de Misiones, que los valores menores de MOS se obtuvieron en cultivos de yerba mate con manejo convencional, alcanzando la mitad (3,26%) de MOS respecto a suelos bajo selva (6,76%), y recuperando sus contenidos con cáscara de tung y con uso de aserrín de maderas de pino y eucaliptos, entre otras (5,23%).

Los mayores valores de estabilidad de los agregados (74%) se obtuvieron superficialmente, con el aporte de palillo de tabaco ( $P < 0,05$ ). En la profundidad de 10 a 20 cm el tratamiento testigo presentó uno de los menores contenidos orgánicos con la menor estabilidad de agregados (46,6%) estadísticamente significativos (Cuadro 3). De igual modo, Prause *et al.* (1997) obtuvieron disminuciones de Ea al reducirse los contenidos orgánicos del suelo en Kandiudultes de Misiones, con valores promedios de 64% de estabilidad en reforestaciones con pinos (*Pinus elliotii* Engl.).

La Ea disminuyó en todos los tratamientos con la profundidad, pero fue superior en los tratamientos con enmiendas orgánicas correlacionándose positivamente con la MOS ( $r=0,387$ ;  $P < 0,0002$ ;  $n = 90$ ), respondiendo a la siguiente ecuación de regresión, donde dicho atributo explicó sólo el 15% de la variación de la Ea según el siguiente modelo:

$$Ea = 35,76 + 6,03 \text{ MOS}; r^2 = 0,15 \quad (P < 0,0002)$$

En densidad aparente y de partículas se observaron ligeras diferencias entre tratamientos, pero no fueron estadísticamente significativas. En cambio, en la porosidad total se determinaron diferencias significativas únicamente en el tratamiento con expeler de tung de 10-20 cm, donde se encon-

tró el valor más alto de MOS, que pudo haber mejorado la agregación del suelo y con ello la porosidad total del mismo (Cuadro 3), como fue hallado por Dalurzo *et al.* (2002) en Eutrudoxes de Misiones con agregado de enmiendas orgánicas de aserrín (de pino y eucaliptos) y cáscara de tung.

El espacio aéreo presentó elevados valores en todos los tratamientos debido a las características típicas de estos suelos (pseudoarenas), variando del 52 al 59% (Cuadro 3); este último valor medio fue para el tratamiento con aplicación de expeler de tung, que habría favorecido la entrada de agua al suelo, ya que corresponden a la macroporosidad edáfica y poros de drenaje (Forsythe, 1985).

En el Cuadro 4 se observa que la resistencia a la penetración de las raíces fue significativamente menor sólo para el tratamiento con expeler de tung de 20-30 cm ( $P < 0,05$ ), y tanto el testigo como el tratamiento con palillo de tabaco, sólo alcanzaron valores restrictivos para el crecimiento radical (Grant y Lafond, 1993) a dicha profundidad.

Para la entrada de agua al perfil se registró el menor valor de infiltración básica en el tratamiento testigo, 26,67 mm h<sup>-1</sup>, superado por el tratamiento de palillo de tabaco 31,15 mm h<sup>-1</sup> y de expeler de tung, 85,54 mm h<sup>-1</sup>, que resultó superior a los anteriores (Figura 1), en correspondencia a las diferencias obtenidas en estabilidad de agregados, porosidad (Cuadro 2) y resistencia a la penetración, mejorando el funcionamiento edáfico, y disminuyendo el peligro de erosión y la degradación del suelo (Cuadro 4).

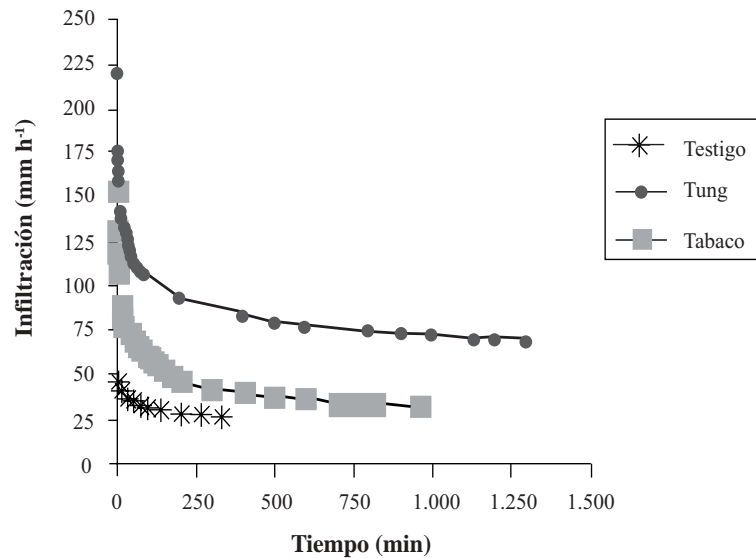
#### Cuadro 4. Comparación de medias de resistencia a la penetración a tres profundidades.

Table 4. Means comparisons of resistance to penetration to three depths.

Tratamientos <sup>1</sup>	Resistencia a la penetración (MPa)		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Te	0,98 a	1,79 bc	1,96 cd
Tu	0,81 a	1,54 b	1,46 b
Ta	0,97 a	1,77 bc	2,23 d

Letras iguales no presentan diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

<sup>1</sup> Te: testigo; Tu: expeler de tung; Ta: palillo de tabaco.



**Figura 1. Curvas de infiltración básica en los tres tratamientos.**

**Figure 1. Basic infiltration curves in all treatments.**

## CONCLUSIONES

El agregado de expeler de tung produjo cambios favorables al suelo en materia orgánica de ambos horizontes, en porosidad total y estabilidad de agregados de 10 a 20 cm, y en resistencia a la penetración de 20 a 30 cm.

El agregado de palillo de tabaco mejoró los contenidos de materia orgánica en superficie y la estabilidad de los agregados hasta los 20 cm de profundidad.

## LITERATURA CITADA

- Alegre, J.C., B. Pashanasi, and P. Lavelle. 1996. Dynamics of soil physical properties in Amazonian agroecosystems inoculated with earthworms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1522-1529.
- Blake, G.R., and K.H. Hartge. 1986. Pycnometer method. p. 377-381. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Bradford, J.M. 1986. Penetrability p. 468-471. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Dalurzo, H.C., R.C. Serial, S. Vazquez, y S. Ratto. 2001. Indicadores químicos y biológicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). *Jornadas Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste.* Disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2001/cyt.htm>. Leído el 15 de marzo de 2002.
- Dalurzo, H.C., S. Vazquez, y S. Ratto. 2002. Indicadores físicos de calidad de suelos en Oxisoles de Misiones (Argentina). *Jornadas Científicas y Tecnológicas de la Universidad Nacional del Nordeste.* Disponible en <http://www.unne.edu.ar/cyt/2002/cyt.htm>. Leído el 14 de diciembre de 2002.
- Feller, C., M. Brossard, and E. Frossard. 1992. Characterization and dynamics of organic matter in low activity clay soils in West - Afrika. In Tiessen H. and E. Frossard (eds.). *Phosphorus cycles and aquatic ecosystems.* Proc. Regional Workshop. Nairobi, Kenya.
- Forsythe, W. 1985. *Física de suelos.* 213 p. IICA, San José, Costa Rica.
- Grant, C.A., and G.P. Lafond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73:223-232.

- Gupta, S.A., P. Sharma, and S. De Frandi. 1989. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron.* 42:311-337.
- Montenegro González, H., D. Malagón Castro, y L. Guerrero. 1990. Propiedades físicas de los suelos. 813 p. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Subdirección Agrológica, Bogotá, Colombia.
- Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. p. 961-1010. *In* J.M. Bigham (ed.). *Methods of soil analysis Part 3. Chemical Methods.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Oliver, C. 1994. Efecto del agregado de enmiendas orgánicas sobre la composición química de un Kandiudult ródico. p. 16. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes, Argentina.
- Piccolo, G.A. 1995. Efecto de diferentes cultivos utilizados como abonos verdes sobre un Rodudalf típico (Misiones, Argentina). *Ciencia del Suelo* 13:101-103.
- Prause, J., H.C. Dalurzo, y A.P. de Lifschitz. 1997. Análisis de algunas propiedades de un suelo con monte nativo, modificadas por la implantación de *Pinus elliottii*. *Agric. Téc. (Chile)* 57:139-146.
- Raghvan, G.S.V., P. Alvo, and E. McKyes. 1990. Soil compaction in agriculture: A view toward managing the problems. *Adv. Soil Sci.* 11:1-36.
- Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico, característica y manejo. 634 p. IICA, San José, Costa Rica.
- Sanstructová, H., O. Heinemeyer, and E.A. Kaiser. 1993. The influence of soil compaction on microbial biomass and organic carbon turnover in micro and macroaggregates. *Geoderma* 56:857-598.
- Satur, C.A. 1996. Relaciones entre las propiedades edáficas y diferentes niveles de rendimientos en yerbales de los departamentos de San Javier y Leandro N. Alem (Misiones). p. 17. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de Nordeste, Facultad de Ciencias Agrarias, Corrientes, Argentina.
- SAGyP. 1990. Proyecto PNUD ARG- 85/019. Atlas de suelos de la República Argentina. 667 p. Tomo II. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Buenos Aires, Argentina.
- Shang, C., and H. Tiessen. 1998. Organic matter stabilization in two semiarid tropical soils: size, density, and magnetic separations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1247-1257.
- Tiessen, H., E. Cuevas, and P. Chacon. 1994. The role of soil organic matter stability in soil fertility and agricultural potential. *Nature (London)* 371:783-785.