



EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE LA POROSIDAD DE UN SUELO ARCILLOSO DE PASTIZAL ESTIMADA MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN

EFFECT OF TILLAGE ON THE POROSITY OF CLAY GRASSLAND SOIL ESTIMATED BY MEANS OF AN ANALYSIS OF DIGITAL IMAGES

Armando López-Santos¹; Guillermo González-Cervantes^{2,3}; Martín Cadena-Zapata³; José Luis González-Barrios².

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Domicilio conocido, Ciudad Bermejillo, Dgo., Apartado Postal Núm. 8, Tels: (872) 776-0160 y 90 Fax (872) 776-0043. C. P. 35230. MÉXICO. Correo-e: alopez@chapingo.uruza.edu.mx

²Centro Nacional de Investigaciones en Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del INIFAP-MÉXICO. (Autor para correspondencia).

³Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, Coah. MÉXICO.

RESUMEN

La labranza primaria ha sido evaluada desde varios puntos de vista; por ejemplo, se sabe que la labranza influye en cambios en la porosidad edáfica y los procesos asociados a ésta. Sin embargo, aún hay interrogantes sobre la magnitud de su impacto. Es así que entre 2006 y 2007 se realizó esta investigación que fue enfocada a la medición y comparación de la porosidad en un suelo de pastizal convertido a uso agrícola, mediante el empleo de una técnica avanzada de imagen, en el rancho Los Ángeles del municipio de Saltillo, Coahuila, México (25° 6.650' N y 100° 59.413' O), donde el clima es del tipo BWhw(x')(e) y los suelos del lugar son arcillosos (Feozem lúvico, HI). El efecto de la labranza con arado de discos (LAD) y labranza con multiarado (LM), fueron comparados con un suelo no disturbado (NL). Los resultados indican cambios en tamaño y forma de los poros. Se observó que el tratamiento con labranza vertical LM muestra una disminución en la porosidad en tres rangos de diámetro: T3 (con poros menores a 2 mm²); T4 (con poros de 0.1 a 2 mm²); y T6 (con poros menores a 0.02 mm²).

Recibido: 12 agosto, 2010
Aceptado: 17, noviembre, 2010
doi:10.5154/r.rchscfa.2010.08.055
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE: Labranza con arado de discos, multiarado, porosidad edáfica.

ABSTRACT

Primary tillage has been evaluated from different points of view. It is known that tillage provokes changes in soil porosity, and the processes associated with it. However, there are still questions about the size of its impact. Therefore, between 2006 and 2007 this research was carried out, focusing on the measurement and comparison of soil porosity in grassland turned into agricultural land, using an advanced imaging technique in rancho Los Angeles, Saltillo, Coahuila, Mexico (25° 6,650' N, 100° 59,413' O) where the climate is BWhw (x') (e) and soils are clayey (Feozem Luvic, HI). The effect of tillage using disk plow (LAD) and tillage using multi-plow (LM), were compared with undisturbed soil (NL). Results indicated changes in size and shape of the pores. It was observed that treatment with vertical tillage using multi-plow shows a decrease in porosity in three diameter ranges: T3 (with pores less than 2 mm²), T4 (with pores of 0.1 to 2 mm²) and T6 (with pores smaller than 0.02 mm²).

KEY WORDS: Tillage with disk plow, multi-plow, soil porosity.

INTRODUCCIÓN

Los pastizales de México cubren una superficie de poco más de 82 millones de ha, 10 % de las cuales corresponden a suelos de tipo *Feozem*, cuyas características principales son su fertilidad (física, química y biológica) y profundidad. Debido a esto, en muchas regiones alrededor del mundo, como en el caso de México, los agricultores históricamente han empleado dichas superficies como alternativa para incrementar la frontera agrícola con la siembra de cereales y forrajes, generando

INTRODUCTION

Mexican grasslands cover an area of just over 82 million hectares, 10 % correspond to *feozem* soils, and their main characteristics are: fertility (physical, chemical and biological) and depth. In many regions around the world, as in the case of Mexico, farmers have historically used these areas as an alternative to increase the agricultural frontier, sowing cereals and fodders, generating environmental impacts insufficiently assessed (SEMARNAT, 2002; CONAFOR, 2008).

con ello impactos ambientales insuficientemente evaluados (SEMARNAT, 2002; CONAFOR, 2008).

El uso de arado de discos históricamente ha sido dirigido a facilitar las labores agrícolas, particularmente las relacionadas con el manejo del suelo y con ello incrementar la rentabilidad de las explotaciones agropecuarias al disminuir la mano de obra; sin embargo, al cabo de unas cuantas décadas se han documentado efectos adversos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (ISTRO, 2007; Camacho-Tamayo y Rodríguez, 2007; Shahbazi *et al.*, 2009; Peth *et al.*, 2010).

Ante ello, se han propuesto implementos de labranza con diseños orientados a la conservación de suelos y del agua como el multiarado (Ventura *et al.*, 2003; Martínez-Gamiño y Jasso-Chavarría, 2006), pero el efecto de estos implementos sobre las propiedades físicas del suelo, como es la porosidad edáfica y sus efectos en los fenómenos de flujo de masa (agua, aire y solutos) y energía (flujo de calor), en la actualidad presenta muchas interrogantes, pues la mayor parte de las evaluaciones realizadas se han concentrado en su desempeño mecánico (Gutiérrez *et al.*, 2004) y sobre la producción de cosechas (Martínez-Gamiño y Jasso-Chavarría, 2006).

Aunque la distinción del efecto de las operaciones de labranza, en términos del impacto en las propiedades porosimétricas en la capa arable, no siempre ha sido fácil de demostrar estadísticamente (Singh *et al.*, 1990; Singh *et al.*, 1991; Eynard *et al.*, 2004), algunos autores se han aproximado con bastante éxito para diferenciar las ventajas y desventajas de la labranza, utilizando para ello técnicas avanzadas de análisis de imagen (González *et al.*, 2004a,b; Udawatta *et al.*, 2008b).

Es por ello que los objetivos de la presente investigación se plantearon del siguiente modo: 1) Determinar las variables morfológicas de los poros mediante algoritmos matemáticos a partir de imágenes digitales; y 2) Comparar los impactos del arado de discos y el multiarado sobre las propiedades porosimétricas como son: tamaño, forma, número de espacios vacíos y su distribución en el perfil, comparándolo con un suelo sin disturbio en un suelo arcilloso de pastizal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar y características edáficas donde se realizó el muestreo de suelo

El presente estudio se realizó en el rancho Los Angeles, municipio de Saltillo, Coahuila, México (25° 6.650' N y 100° 59.413' O). El clima del lugar, de acuerdo a García (2003), es [BWhw(x')(e)] semiárido, con invierno fresco, con temperatura media anual que fluctúa entre 18 y 22 °C, con lluvias en promedio anual de 450 a 550 mm distribuidas primordialmente en verano e invierno, y una

The use of disk plow was historically implemented to make farming easier, particularly those tasks related to land management and in order to increase the profitability of farms by reducing labor; but after a few decades adverse effects in physical, chemical and biological soil properties have been reported (ISTRO, 2007; Camacho-Tamayo and Rodríguez, 2007; Shahbazi *et al.*, 2009; Peth *et al.*, 2010).

Thus, tillage tools (like multi-plow) with designs focused to soil and water conservation have been proposed (Ventura *et al.*, 2003; Martínez-Gamiño and Jasso-Chavarría, 2006), but the effects of these instruments on physical soil properties, like soil porosity and the effects in the phenomena of mass flow (water, air and solutes) and energy (heat flow), generate many questions, since most of the evaluations carried out have been aimed in their mechanical performance (Gutiérrez *et al.*, 2004) and crop production (Martínez-Gamiño y Jasso-Chavarría, 2006).

Although the distinction of the effect of tillage operations has not always been easy to demonstrate statistically (Singh *et al.*, 1990; Singh *et al.*, 1991; Eynard *et al.*, 2004), some researchers have come closer with success to distinguish tillage's advantages and disadvantages, using advanced techniques of image analysis (González *et al.*, 2004a,b; Udawatta *et al.*, 2008b).

The aims of the present research were set as follow: 1) to establish morphological variables of the pores using mathematical algorithms from digital images; and 2) to compare the impacts of plow disk and multi-plow on porosimetry properties such as: size, shape, number of empty spaces and distribution, with an undisturbed soil in clay grassland soil.

MATERIALS AND METHODS

Place and soil characteristics of soil sampling

The present study took place at rancho Los Angeles, Saltillo, Coahuila, Mexico (25° 6.650' N y 100° 59.413' O). The weather, according to García (2003) is [BWhw(x')(e)] semiarid with cool winter. Average annual temperature oscillates between 18 and 22 °C with an average annual rainfall of 450 to 550 mm primarily during summer and winter, and an average altitude of 2,100 m. Characteristics of the experimental plots are shown in Table 1.

Typical vegetation for this area is gramineae, composed by *Aristida*, *Buchloe*, *Boteloua*, *Mulenbergia*, *Steria* and *Stipia* (Mellado, s/f), and also plants like: *Laminaceas*, *Chenopodacea*, *Euphorbacea* and

CUADRO 1. Propiedades físico-químicas más importantes de las parcelas experimentales.

TABLE 1. The most important physicochemical properties of the experimental plots.

Profundidad cm	pH	CE (ds/m)	% Arcilla	% Limo	% Arena	Da (g/g)	Clase textural	% N	% M.O	% CaCO ₃ Totales
0-30	8.28	2.1	44	24	32	0.9	Arcilloso	0.21	4.24	37.28
30-60	8.31	0.509	58	28	14	1.1	Arcilloso	0.14	2.8	37.77

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua y Suelo del Dpto. de Riego y Drenaje, UAAAN. pH=potencial hidrógeno; CE= conductividad eléctrica en decisiemens por metro; Da= densidad aparente; N= nitrógeno; M.O. materia orgánica; CaCO₃ = carbonatos totales.

Source: Water and soil quality Laboratory, Department of Irrigation and Drainage, UAAAN. pH=hydrogen potential; CE= electrical conductivity in deciSiemens per meter; Da= bulk density; N= nitrogen; M.O. organic matter; CaCO₃ = total carbonates.

altitud promedio de 2,100 m. Las características de las parcelas experimentales se presentan en el Cuadro 1.

La vegetación típica reportada para este lugar es de gramíneas, que comprende los géneros *Aristida*, *Bu-chloe*, *Boteloua*, *Mulenbergia*, *Steria* y *Stipia* (Mellado, s/f), además de que también se reporta la presencia de especies vegetales de las familias: *Laminaceas*, *Che-nopodacea*, *Euphorbacea* y *Asteraceae*. Tales especies aparecen en este lugar como resultado del cambio de uso pecuario a uso agrícola.

Diseño experimental y técnica de imagen

Los tratamientos consistieron en el laboreo del suelo por parcela mediante el empleo de un multiarado provisto con aletas en delta (LM) y un arado reversible de tres discos, comúnmente empleado en la zona de estudio (LAD). Para LM se usó un tractor NEWHOLLAND modelo 6810 de 95 HP, y para LAD se usó un tractor John Deere, modelo 3200 de 84 HP. Ambos fueron calibrados para trabajar a 0.25 m de profundidad, como se muestra en la Figura 1. Un tratamiento testigo sin labranza (NL) fue estudiado simultáneamente.

Para cada tratamiento (incluido el testigo) se extrajeron al azar, para las profundidades 0-0.15 y 0.15-0.30 m, tres muestras para un total de 18 unidades, las cuales fueron preparadas en monolitos de 0.15 m por lado de acuerdo a la metodología propuesta por Vergière (Bourrier, 1965). Estos monolitos, en laboratorio, fueron deshidratados mediante el desplazamiento de agua con acetona y, a continuación, se saturaron con resina de poliéster (Scout-Bader Crystic) complementada con un pigmento fluorescente (Uvitex) a los rayos ultravioleta (Murphy *et al.*, 1977). Después, al secado de la resina, se realizaron cortes horizontales para observar y describir la porosidad del suelo.

La descripción de la porosidad del suelo se realizó sobre imágenes de formato digital de la superficie del suelo no disturbado iluminado con luz ultravioleta. Las imágenes se obtuvieron con una cámara digital Olympus CCD de 4.1 mega píxel, para dos acercamientos o es-

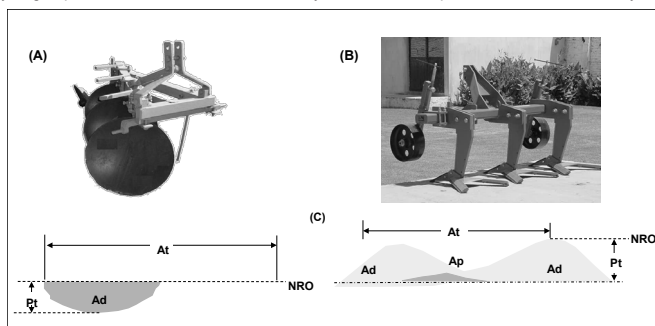


FIGURA 1. Arado de 3 discos (A), Multiarado (B) y parámetros técnicos de su funcionamiento en el suelo para ambos implementos (C): At, ancho de trabajo; NRO, nivel de referencia original; Ad, área disturbada; Pt, profundidad de trabajo.

FIGURE 1. Three-disc plow (A), multi-plow (B) and for both tools the technical parameters of their performances on the ground (C): At, working width; NRO, original baseline; Ad, disturbed area; Pt, working depth.

Asteraceae. These species appear in this place as a result of changing from livestock to agricultural use.

Experimental design and image technique

Treatments consisted in tillage per plot using a multi-plow with delta wings (LM) and a reversible three-disc plow, commonly used in the assessed area (LAD). For LM a tractor NEWHOLLAND, model 6810 of 95 HP was used, for LAD a tractor John Deere, model 3200 of 84 HP was used. Both tractors were calibrated to work at 0.25 m deep, as it is shown in Figure 1. A control treatment with zero tillage (NL) was simultaneously studied.

Three samples were randomly taken (from each treatments including Control treatment), for depths from 0 to 0.15 and for 0.15 to 0.30 m, for a total of 18 monoliths, which were set in monoliths of 0.15 m per side according to the methodology proposed by Vergière (Bourrier, 1965). Monoliths were dehydrated by displacing water with acetone and then saturated with polyester resin (Scout-Bader Crystic) supplemented with a fluorescent pigment (Uvitex) exposing them to UV (Murphy *et al.*,

CUADRO 2. Claves para seis rangos de tamaño de poros definidos en dos escalas.

TABLE 2. Keys for six size levels of pores set in two scales

Clave	Escala M1			Escala M2		
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rt mm ²	>10	2-10	<2	>0.1	0.1-0.02	<0.02

calas: escala M1, en forma de matriz rectangular de 127 x 95 mm (12,065 mm²), con una resolución espacial de 56 µm por píxel (donde se observaron los macroporos); y escala M2, en forma de matriz rectangular de 13 x 10 mm (130 mm²) con apoyo de microscopio estereoscópico (ME), a una resolución de 6 µm por píxel (donde se observaron los mesoporos), cuya distribución se muestran en el Cuadro 2.

En tanto, el análisis de imagen se realizó utilizando un analizador Image Pro Plus® v4.5 (Media Cibernética, Maryland, USA) bajo microcomputadora personal en el laboratorio de imagen del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA-INIFAP).

Para la primera escala, las imágenes fueron captadas por medio de una cámara OLYMPUS (Mod. C4040), con Zoom 7.5x de 4.1 MP; en tanto que para la segunda se usó la misma cámara, pero esta vez fue montada sobre un estereoscopio OLYMPUS (Mod. SZ-CTV), con lente 110 AL 2x WD38. En ambos casos se usaron dos lámparas (Mineralight Lamp) que emiten rayos UV en una longitud de onda 254-365 nm (nanómetros), para iluminar la superficie objetivo, con lo que es posible diferenciar los espacios vacíos del suelo.

Variables medidas

La densidad aparente inicial (D_{a_i}) fue calculada a cuatro profundidades (0.05, 0.10, 0.20 y 0.25 m) por gravimetría de muestras obtenidas con una barrena de núcleos, y la D_a final (D_{a_f}) se determinó por el método de la cadena propuesto por Saleh (1993). Las porosidades total, inicial (P_{t_i}) y final (P_{t_f}) fueron calculadas mediante la diferencia unitaria y la relación D_a /Densidad real, D_r [$P_t = 1 - (D_a/D_r)$], donde D_r se asume con un valor constante igual a 2.65 kg·m⁻³ (Eynard *et al.*, 2004).

Análisis estadístico

El análisis estadístico comprendió los promedios porcentuales de área, forma y tipo de poros. Se aplicó PROOC GLM en SAS (SAS, 2006), bajo un diseño completamente al azar. Se consideraron como fuentes de variación (Clases) las operaciones de labranza (NL, LM y LAD), profundidad (0.05, 0.10, 0.20 y 0.25 m) y el

1977). When the resin was dry, horizontal cuts were made to observe and describe the soil porosity.

The description of soil porosity was performed on digital images of the undisturbed soil surface illuminated with UV light. Images were taken with an Olympus CCD digital camera of 4.1 megapixel, for two approaches or scales: Scale M1, rectangular matrix of 127 x 95 mm (12,065 mm²), with a spatial resolution of 56 µm per pixel (where macropores were observed); Scale M2 rectangular matrix of 13 x 10 mm (130 mm²) with stereoscopic microscope (ME) support, at a resolution of 6 µm per pixel (where mesopores were observed), their distribution is shown in Table 2.

Image analysis was carried out using an image analyzer Pro Plus® v4.5 (Media Cybernetics, Maryland, USA) under personal microcomputer at the image laboratory of the National Centre for Disciplinary Research on Water, Soil, Plant, and Atmosphere Relationships at INIFAP (*Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera*).

On one hand, images for the first scale were captured using an OLYMPUS camera (Mod. C4040), 7.5X Digital Zoom 4.1MP; on the other hand, images for the second scale were taken with the same camera, but this time the camera was set on stereoscope OLYMPUS (Mod. SZ-CTV), lens 110110 AL 2x WD38. In both cases, two mineralight lamps were used, which release UV at a wavelength of 254-365 nm (nanometers) to illuminate the target surface, in order to differentiate the soil voids.

Measured variables

Initial bulk density (D_{a_i}) was measured at four depths (0.05, 0.10, 0.20 and 0.25 m) by gravimetry techniques of samples obtained with an auger-core, and final density (D_{a_f}) was established using the chain method proposed by Saleh (1993). Initial (P_{t_i}) and final (P_{t_f}) total porosity were measured by means of unit difference and the relationship bulk density/real density, D_r [$P_t = 1 - (D_a/D_r)$], where D_r (real density) has a constant value equal to 2.65 kg·m⁻³ (Eynard *et al.*, 2004).

Statistical analysis

Statistical analysis comprises the average percentages of the area, shape and type of the pores. PROOC GLM in SAS was applied (SAS, 2006), under a complete randomized design. Tillage operations (NL, LM y LAD), depth (0.05, 0.10, 0.20 and 0.25 m) and shape of the pores (FR = round, FI = irregular, y FA = elongated) were considered as sources of variation (types) and the morphological values in percent as response variables. Comparisons, both for treatments as for repetitions, were carried out by means of Duncan's multiple range test, statistical differences were significant with $P \leq 0.01$.

tipo de forma de poros (FR = redondos, FI = irregulares, y FA= alargados) y como variables de respuesta los valores morfológicos en porcentaje. Las comparaciones, tanto para tratamientos como para repeticiones, se realizaron mediante la prueba de rango múltiple de Duncan, y las diferencias estadísticas fueron declaradas significativas con $P \leq 0.01$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la magnitud del efecto de la labranza sobre la estructura y porosidad del suelo, en esta parte se describen y discuten con base en dos propiedades: 1) la porosidad cuantificada en términos de superficie en los rangos ya definidos como: M1: T1 = >10, T2 = 2-10, y T3 = < 2 mm²; y M2: T4 = > 0.1, T5 = 0.1 a 0.02, y T6 = <0.02; y 2) su caracterización por la geometría de poros, de acuerdo a formas alargadas, redondas e irregulares. La relación de ambas propiedades permitirá establecer un balance dinámico entre procesos constructivos y destructivos, primordialmente para la porosidad en los rangos definidos en la escala M1.

Superficie y distribución de la porosidad en el perfil

Se sabe que la porosidad total (Pt) cambia en la misma proporción que la Da, pero en este caso hay un efecto de esponjamiento de la capa superior del suelo que sólo es detectado por los cambios en la rugosidad de la superficie, los cuales se presumen recíprocos como para la densidad aparente (Da), con valores equivalentes a 1.26 y 5.38 % para LM y LAD, respectivamente. Valores de cambio en Da muy cercanos a los reportados por Azooz *et al.* (1996) para un suelo franco limoso con 1.6 % y otro franco arenoso con 0.72 %, en los que ambos habían sido laborados con arado de discos (Cuadro 3).

RESULTS AND DISCUSSION

To establish the size of the impact that tillage has on soil structure and porosity, it has to be described and discussed based on two properties : 1) quantification of porosity in terms of surface in the ranges already determined as: M1: T1 = >10, T2 = 2-10, and T3 = < 2 mm²; and M2: T4 = > 0.1, T5 = 0.1 a 0.02, and T6 = <0.02; and 2) their characterization based on pore geometry, according to the elongated, round and irregular shapes. The relation between both properties will establish a dynamic balance between constructive and destructive processes, primarily for porosity in ranges determined in scale M1.

Surface and porosity distribution

Total porosity (Pt) changes in the same proportion as DA, but in this case there is an effect of loosening of the topsoil only detected by changes in surface roughness, which are presumed to be reciprocal to the apparent density (Da) with equivalent values of 1.26 and 5.38 % for LM y LAD, respectively. Values of change in Da are very close to those reported by Azooz *et al.* (1996) for a silt loam soil with 1.6 % and a sandy loam soil with 0.72 %, both worked with disc plow (Table 3).

Surface percentages occupied by the pores, and their distribution along the profile for NL, LM and LAD in scales M1 and M2, are shown in Figure 2 (2a, 2b, 2c). A fraction of the porosity that oscillates between 30 y 43 % wasn't quantified and it is assumed that it would correspond to the micropores, which can only be observed using a scanning electron microscope (MBE). Soils have a spectrum of pores with a radius between 10⁻³ y 10⁻⁷ (Kung *et al.*, 2005). It would be expected that immediate tillage would only affect those pores whose radius is close to 10⁻³, where macropores are located.

CUADRO 3. Densidad aparente (Da) y porosidad total (Pt), inicial y final por tratamiento.

TABLE 3. Initial and final bulk density (Da) and total porosity (Pt) per treatment.

Trat.	Da por estrato (m)				Pt por estrato (m)			
	0.05	0.10	0.20	0.25	0.05	0.10	0.20	0.25
	----- Da _i en kg·m ⁻³ -----				----- Pt _i en % -----			
NL	904	923	816	955	65.8	65.1	69.2	63.9
LM	916	863	956	973	65.4	67.4	63.9	63.3
LAD	973	939	915	915	63.3	64.6	65.5	65.5
	----- Da _f en Kg m ⁻³ -----				----- Pt _f en % -----			
NL	904	923	816	955	65.8	65.1	69.2	63.9
LM	905	852	944	961	65.8	67.8	64.4	63.7
LAD	921	888	866	866	65.2	66.5	67.3	67.3

Tratamientos (Trat.): NL= no labranza; LM= labranza con multiarado; LAD= labranza con arado de discos; Da_i= densidad aparente inicial; Da_f= densidad aparente final; Pt_i= porosidad total inicial; Pt_f= porosidad total final.

Treatments: NL= zero tillage; LM= tillage using multi-plow; LAD= tillage using disk plow; Da_i= initial bulk density; Da_f= final bulk density; Pt_i= initial total porosity; Pt_f= final total porosity.

Los porcentajes de la superficie que ocupan los poros, así como su distribución a lo largo del perfil para NL, LM y LAD en las escalas M1 y M2, se muestran en la Figura 2 (2a, 2b, 2c). Cabe destacar que una fracción de la porosidad que oscila entre 30 y 43 % no fue cuantificada y se asume que correspondería a los microporos que solamente pueden ser observados con el microscopio electrónico de barrido (MEB). De manera natural, los suelos tienen un espectro de poros con radio generalmente entre 10^{-3} y 10^{-7} (Kung *et al.*, 2005). Se esperaría que la labranza de manera inmediata únicamente afectara aquellos poros cuyo radio es cercano a 10^{-3} donde se ubican los macroporos.

Los índices M1/Pt y M2/Pt indican la proporción de Pt de la porosidad que fue medida en los rangos de poros en las escalas M1 y M2, después de las operaciones de labranza. Por ejemplo, la porosidad comprendida en los rangos de poros en la escala M2 es más grande que M1 en todos los casos (Figura 3).

La comparación de los índices mostrados anteriormente (Figura 3) podría ser engañosa si no se considera que este suelo tiene una porosidad natural, como se observó en el testigo (NL), derivada de sus características intrínsecas asociadas a la proporción de arcilla presente (>40%), materia orgánica (>5.0 %) y por la presencia de carbonatos (>37 %), factores fundamentales en el desarrollo de la red de microporos en el suelo (Katsvairo *et al.*, 2002; Causarano, *et al.*, 2008); es decir, las diferencias mucho mayores observadas entre NL-M2 con respecto a LM-M2 y LAD-M2, están enmascarando el efecto de la labranza por el hecho de ser más pequeñas las diferencias entre NL-M1 con respecto a LM-M1 y LAD-M1; pues diferencias pequeñas sobre los rangos de poros en la escala M1, con porcentajes no mayores a un dígito (entre 3.7 y 8.26 %), tendrán mayor repercu-

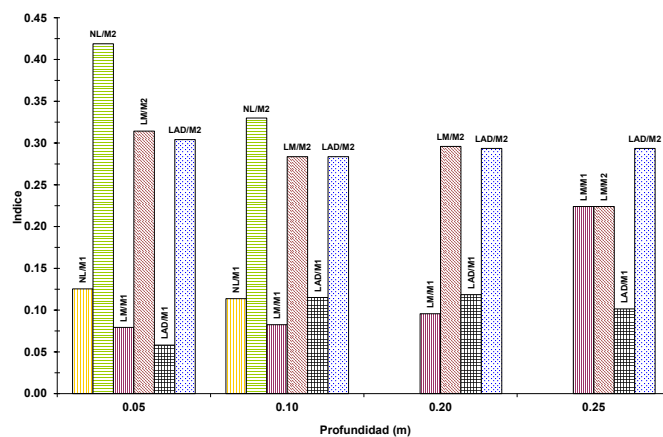


FIGURA 3. Índices de porosidad por tratamiento representados para las cuatro profundidades (m) estudiadas.

FIGURE 3. Porosity indices per treatment represented for the four assessed depths (m).

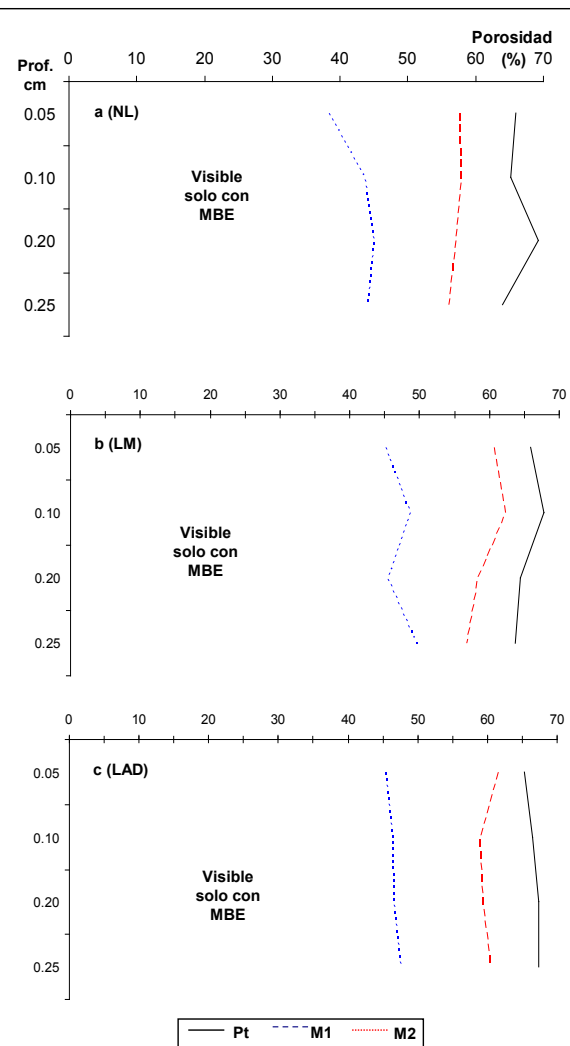


FIGURA 2. Perfil de porosidad en porcentaje en las escalas M1 y M2 para (a) No labranza, (b) Labranza con multiarado, y (c) Labranza con arado de discos (MEB, microscopio electrónico de barrido).

FIGURE 2. Porosity profile in percentage in scales M1 and M2 for (a) zero tillage, (b) tillage using multi-plow, and (c) tillage using disk plow (MEB, scanning electron mi-

Indices M1/Pt and M2/Pt show the proportion of Pt of the porosity that was measured in the ranges of the pores in scales M1 and M2, after tillage. For example, the porosity in ranges of the pores in scale M2 is higher than M, in all cases (Figure 3).

The comparison of the indices, shown in figure 3, could be misleading if it is not considered that this soil has a natural porosity, like it was observed in control treatment (NL), derived from their intrinsic characteristics related to the proportion of clay present (>40%), organic matter (>5.0 %) and by the presences of carbonates (>37 %), fundamental factors for the development of the micropores network in soil (Katsvairo *et al.*, 2002; Causarano, *et al.*, 2008); in other words, the biggest

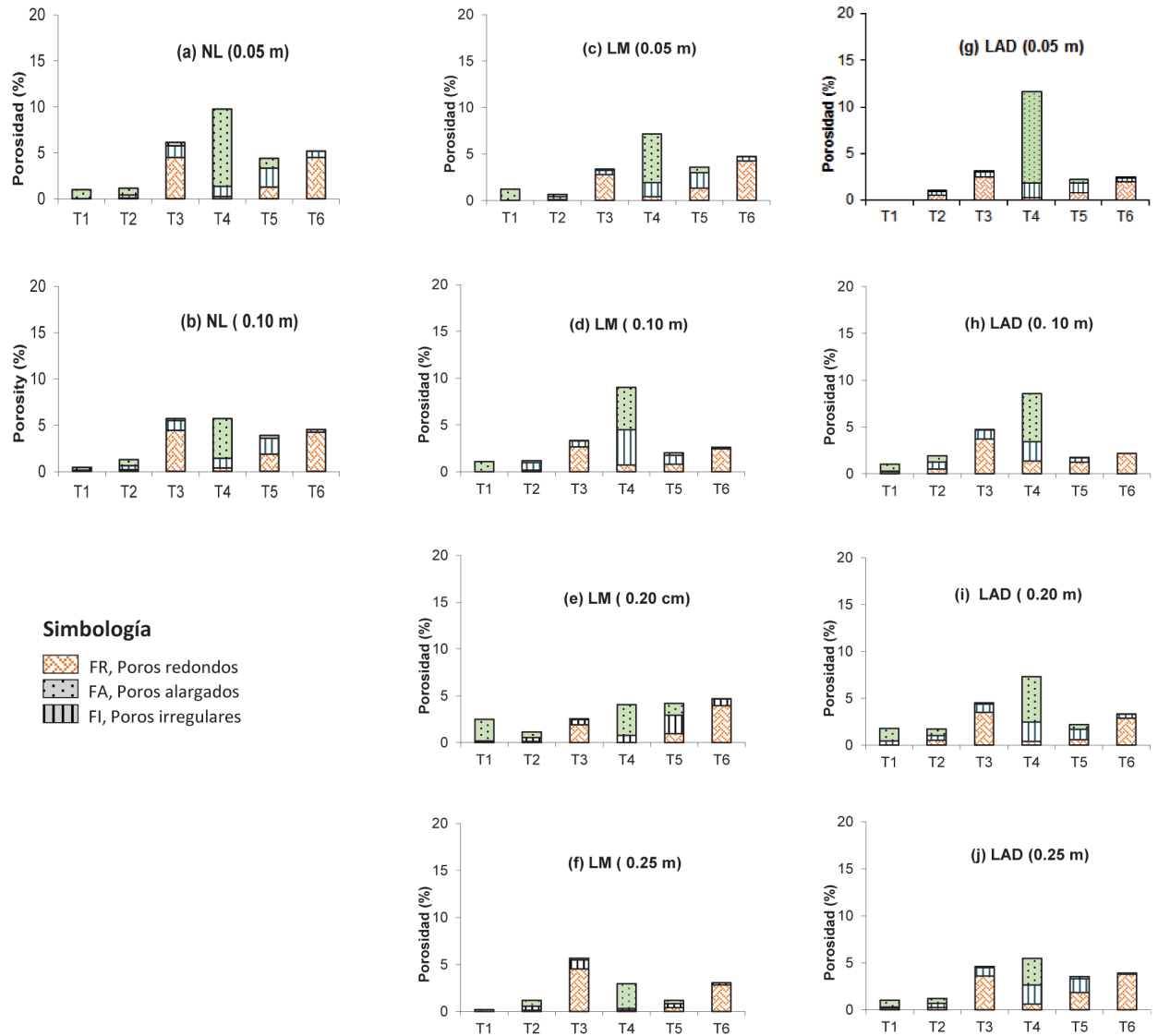


FIGURA 4. Impacto de los tratamientos para NL, LM y LAD sobre la morfología de poros en términos relativos (%).

FIGURE 4. Treatments impact for NL, LM and LAD on pores morphology in relative terms (%).

sión que en los rangos para M2 cuyos valores obtenidos están aproximadamente entre 12 y 20.77 %.

No hay que pasar por alto que el manejo agrícola afecta la distribución del tamaño de poros, así como su continuidad y tortuosidad. El tráfico en particular reduce la macroporosidad y la labranza mecánicamente rompe la continuidad de poros, compacta el suelo aumentando su densidad aparente con el tiempo y forma un nivel de endurecimiento difícil a la penetración de la maquinaria agrícola y a la entrada y circulación del agua (Azooz *et al.*, 1996; Eynard *et al.*, 2004).

Morfología de poros

El análisis cuantitativo que describen los histogra-

differences observed between NL-M2 regarding LM-M2 and LAD-M2, are covering the effect of tillage by the fact that the differences between NL-M1 regarding LM-M1 and LAD-M1 are smaller; as smaller differences on pores ranges in scale M1, with rates no higher than one digit (between 3.7 and 8.26 %), will have a bigger impact on ranges for M2 whose values obtained are between 12 and 20.77 %.

It is important not to forget that agricultural management affects pores size distribution, as well as their continuity and tortuosity. Traffic reduces macroporosity and tillage breaks up pores continuity, compacting soil and increasing its bulk density with time, forming a hardening that hampers penetration of

mas en la Figura 4 y cualitativo mediante la visualización de las imágenes binarias mostradas en la Figura 5, ayudan a distinguir y explicar el efecto del laboreo en la porosidad y estructura del suelo. En el primero, por ser una comparación que analiza tres formas de poros encontrados en las imágenes: irregulares (malla de puntos), redondos (entramado) y alargados (con líneas verticales); y el segundo por tratarse de las mismas imágenes sobre las cuales se hicieron las mediciones discutidas en el presente documento.

Con excepción de LAD a 0.25 m de profundidad [i (LC)], las formas predominantes observadas en la Figura 4 son para poros irregulares y redondos, e indican el efecto de deformación que tienen los implementos de labranza a diferentes profundidades, que corresponden a tamaños identificados como: T3, T4 y, T6. La característica principal de ambos es que están presentes en todas las muestras analizadas. Aunque también es evidente que su presencia cambia con la profundidad.

Descripción cualitativa

Para complementar la evaluación de los efectos del laboreo en el suelo, en la Figura 5 se muestran 10 imágenes (A - J) correspondientes a las cuatro profundidades en estudio.

Justamente, lo que se busca con el laboreo mecánico es acondicionar la capa arable, por lo que hay una deformación esperada, como ya se ilustró anteriormente (Figura 1); sin embargo, la aparición de fisuras o grietas

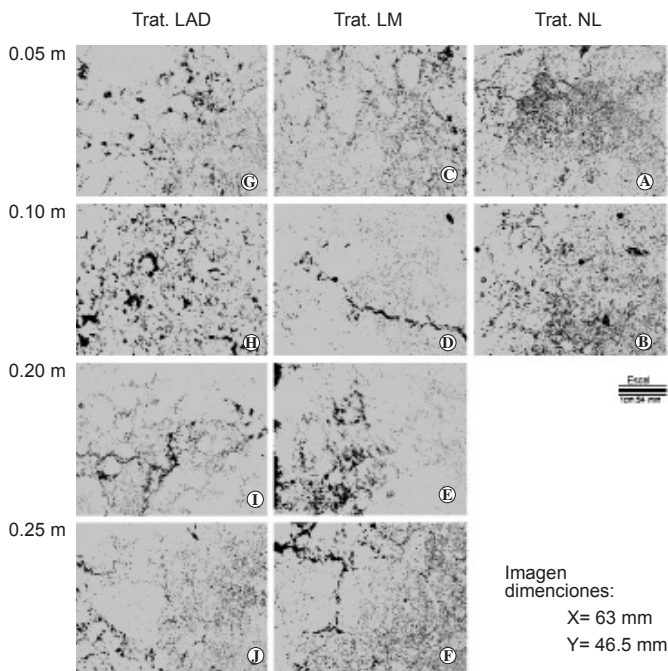


FIGURA 5. Imágenes binarias sobre las que se realizaron las mediciones morfométricas.

FIGURE 5. Binary images on which mathematical morphology

agricultural equipment and the permeation and flow of water (Azooz *et al.*, 1996; Eynard *et al.*, 2004).

Pores morphology

The quantitative analysis shown by the histograms in Figure 4 and the qualitative analysis by means of the display of binary image shown in Figure 5, are useful to distinguish and explain the tillage effect in soil porosity and structure. The first, because it is a comparison that examines three types of pores observed in the images: irregular (mesh points), round (framework) and elongate (with vertical lines); the second, because it has the same images from which the measurements discussed in the present paper were obtained.

The predominant shapes observed in Figure 4 are for irregular and round pores, with exception of LAD at 0.25 m depth [i (LC)], showing the deformation effect that tillage tools have at different depths, corresponding to the sizes identified as: T3, T4 and T6. The main feature of both pores is that they are present in all the analyzed samples. But it is also clear that their presences changes with depth.

Qualitative description

In order to complement tillage effects assessments in soil, in Figure 5 ten images (A - J) are shown, these images correspond to the four depths of this study.

The aim of tillage is to adjust the topsoil, provoking an expected deformation, as it is illustrated above (on Figure 1); however, the appearance of cracks located from 0.10 a 0.20 m depth, respectively, for LM (Figure 5d and 6f) and LAD (Figure 5i), are a critical aspect for soil conditioning, because a soil deformation at this level causes the loss of empty spaces thereby wetting and drying natural cycles change, and thus a greater loss of moisture by infiltration and evaporation is provoked (Nidal y Abu-Hamdeh, 2003).

Analysis of variance

The arithmetic differences mentioned before are complemented with the results of the analysis of variance (GLM) for three porosity properties (Table 4), having similarities with the results reported by many authors (Singh *et al.*, 1991; Eynard *et al.*, 2004; Udawatta *et al.*, 2008a).

It is clear that soil pore areas brought under tillage are superior to the no disturbed soil areas, which is consistent with the changes in bulk density shown in Table 3, where the differences between D_a and D_a , are bigger for LAD treatment comparing to LM; this behavior is due to the loosening of soil when the tool break and remove the surface horizon; this could be beneficial for

CUADRO 4. ANOVA para tres propiedades de poros.
TABLE 4. ANOVA for three pores properties.

Prof (m)	Trat.	Propiedades			Promedio (%)
		Área	Forma	Tipo	
			-----%-----		
0.05	NL	47.9 c	1.5 a	FR	1.4 a
	LM	52.9 ab	1.1 a	FI	1.2 ab
	LAD	53.4 ab	1.1 a	FA	0.7 b
0.10	NL	50.7 bc	1.2 a		
	LM	55.4 a	1.0 a		
	LAD	52.6 ab	1.1 a		
0.20	NL	nd	nd		
	LM	51.7 abc	1.0 a		
	LAD	52.9 ab	1.1 a		
0.25	NL	nd	nd		
	LM	53.1 ab	0.8 a		
	LAD	54.0 ab	1.1 a		

FR, forma redonda; FI, forma irregular; FA, forma alargada. nd, sin dato.
 Nota: Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.
 FR, round; FI, irregular; FA, elongate; nd, no data
 Note: Measurements with the same letter are not significantly different.

tas localizadas desde los 0.10 y 0.20 m de profundidad, respectivamente, para LM (Figura 5d y 6f) y LAD (Figura 5l), son un aspecto crítico en el acondicionamiento del suelo, debido a que una deformación del suelo a este grado promueve la pérdida de espacios vacíos, con ello se modifican los ciclos naturales de humedecimiento y secado, y con ello también hay una mayor pérdida de humedad por infiltración y evaporación (Nidal y Abu-Hamdeh, 2003).

Análisis de varianza

Las diferencias aritméticas antes descritas se complementan con los resultados del análisis de varianza (GLM) para tres de las propiedades de la porosidad (Cuadro 4), teniendo similitudes con lo reportado por varios autores (Singh *et al.*, 1991; Eynard *et al.*, 2004; Udawatta *et al.*, 2008a).

Es evidente que las áreas de poros de los suelos sometidos labranza son superiores a la del suelo no disturbado, lo cual es consistente con los cambios en la densidad aparente mostrados en el Cuadro 3, donde las diferencias entre D_{a_i} y D_{a_f} son mucho mayores para el

compacted soils, as it is demonstrated by Nidal H. Abu-Hamdeh (2003).

Tillage effect expressed by the loosening of the topsoil, apparently brings a benefit, when in fact this is an expression of physical soil degradation than can provoke changes in liquid and gas exchange's functions between soil phases (Peth *et al.*, 2010), as well as in chemical and biological processes related to agricultural production and to soil water conservation (Udawatta *et al.*, 2008a, b; Watts *et al.*, 2009).

CONCLUSIONS

With the present research it has been demonstrated that tillage using disk plow (LAD) and multi-plow (LM) modifies porosimetry in soil profile, such as: size, shape and surface of the pores. Practically the whole system was affected, but the biggest changes occurred in scale M1 ($T_1 = >10$, $T_2 = 2-10$, y $T_3 = < 2 \text{ mm}^2$).

Even when there were no statistically significant differences to establish which one of the two systems of tillage had0 less impact on soil, it is important to

tratamiento LAD comparado con LM; comportamiento que se debe al esponjamiento del suelo al momento que el implemento rompe y voltea los horizontes superficiales; lo cual podría ser benéfico para suelos compactados, como lo demuestran Nidal H. Abu-Hamdeh (2003).

El efecto mecánico del laboreo expresado por el esponjamiento de la capa arable, aparentemente trae consigo un beneficio, cuando en realidad es una expresión de la degradación física del suelo que puede provocar cambios en las funciones de intercambio gaseoso y líquido entre las fases del suelo (Peth *et al.*, 2010), así como en los procesos químicos y biológicos ligados a la producción agrícola y la conservación del agua y el suelo (Udawatta *et al.*, 2008a,b; Watts *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Con la presente investigación se ha demostrado que el laboreo mecánico con arado de discos (LAD) y con Multiarado (LM) modifican las propiedades porosimétricas en el perfil del suelo, como son: tamaño, forma y superficie de los poros. Prácticamente todo el sistema de poros fue afectado, pero los que tuvieron mayores cambios corresponden a la escala M1 ($T_1 = >10$, $T_2 = 2-10$, y $T_3 = < 2 \text{ mm}^2$).

Aun cuando no hubo diferencias estadísticas significativas para determinar cuál de los dos sistemas de laboreo tiene menos impacto en el suelo, habría que tomar en cuenta que pequeños cambios en la porosidad edáfica generan alteraciones mucho más grandes para otras funciones del suelo, tales como la aireación y la conductividad hidráulica.

Además de lo anterior, se espera que los resultados obtenidos con la técnica de análisis de imagen mejoren la comprensión de los efectos provocados en el suelo, que no pueden ser cuantificados con métodos tradicionales.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por el apoyo otorgado en la investigación de campo, y al CENID-RASPA-INIFAP, de Gómez Palacio, Dgo., por las facilidades en la segunda fase de Laboratorio de Imagen.

LITERATURA CITADA

- AZOOZ R., H.; ARSHAD M., A.; FRANZLUEBBERS A. J. 1996. Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in Northwestern Canada. *Soil Sci. Am. J.* 60 (4): 1197-1201.
- BOURRIER, J. 1965. Bulletin technique du Génie rural 73. La mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols

bear in mind that small changes in soil porosity provoke disturbance for other soil functions, such as aeration and hydraulic conductivity.

Besides the last mentioned, it is expected that the results obtained by means of the image analysis technique improve the understanding of the effects provoked in soil, that can be quantified as traditional methods.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, for the support granted, and to CENID-RASPA-INIFAP, in Gómez Palacio, Dgo., for the facilities provided during the second phase of laboratory image.

End of English Version

par la méthode Vergière. Cahier ORSTOM. Montpellier, France.

- CAMACHO-TAMAYO J.; RODRÍGUEZ A. G. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua en el suelo. *Agricultura Técnica (Chile)*. 67 (1): 60-67.
- CAUSARANO H.; FRANZLUEBBERS A. J.; SHAW, J. N.; REEVES D. W.; RAPER R. L.. 2008. Soil organic carbon fractions and aggregation in the southern Piedmont and Coastal Plain. *SSSAJ*. 72 (1): 221-230.
- CONAFOR, 2008. Suelos mexicanos, diversidad que distingue, reportaje sobre suelos (II parte). *Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal* 04 de marzo de 2008.
- EYNARD A.; SCHUMACHER T. E.; LINDSTROM M. J.; MALO D. D. 2004. Porosity and pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68 (6): 1927-1934.
- GARCÍA, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. 50: 67-76. Revisado (jul/20/2010), in <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56905009.pdf>
- GONZÁLEZ, C. G.; SÁNCHEZ-COHEN I.; GARCÍA-ARELLANO D. 2004a. Relaciones entre el manejo del huerto de nogal y la porosidad del suelo. *Terra Latino*. (22): 279-287.
- GONZÁLEZ, C. G.; SÁNCHEZ-COHEN I.; ROSSINGOL J. P. 2004b. Morfología de poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas de análisis de

- imagen. Caso de una cuenca del norte de México. Ing. Hidráulica Méx. XIX (3): 15-23.
- GUTIÉRREZ R. F.; GONZÁLEZ, H. A.; SERRATO, C. R. 2004. Evaluación tecnológica-explotativa del conjunto multirrado-tractor J. D. Modelo 4235, en labor de preparación primaria de un suelo Vertisol. Ciencia Ergo Sum. UAEM. Vol. 11, 2: 171-176.
- ISTRO, 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. Soil & Tillage Research 93: 1-12.
- KATSVAIRO T.; COX W. J.; ES H. V. 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. Agron. J. 94 (2): 299-304.
- KUNG K. J.; HANKE M.; HELLING C. S.; KLADIVKO E. J.; GISH T. J.; STEENHUIS T. S.; JAYNES D. B. 2005. Quantifying pore-size spectrum of macropore-type preferential pathways. Soil Sci. Soc. Am. J. 69 (4): 1196-1208.
- MARTÍNEZ-GARMIÑO M. A.; JASSO-CHAVARRIA C. 2006. El multirrado, una herramienta en la agricultura de conservación en el Altiplano y zona media de San Luis Potosí. SAGARPA-INIFAP-CIRNE, Fundación PRODUCE. Desplegable para productores Núm. 22.
- MELLADO M. s/f. Traslape de Dietas entre el Perrito de la Pradera (*Cynomys mexicanus*) y Bovinos en un Pastizal. Medio Abierto. Revisado (08/19/07), in <http://www.uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/Zaridas/dietas.pdf>
- MURPHY, C. P.; BULLOCK P.; TURNER R. H. 1977. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. Journal of Soil Science 28, 498-518.
- NIDAL H.; ABU-HAMDEH. 2003. Compaction and subsoling effects on corn growth and soil bulk density. Soil Sci. Soc. Am. J. 67 (4): 1213-1219.
- PETH S., ROSTEK, J.; ZINK, A.; HORN M. R. 2010. Soil testing of dynamic deformation processes of arable soils. Soil & Tillage Research 106: 317-328.
- SALEH, A. 1993. Soil roughness measurement, chain method. J. Soil Water Conservation 48: 527-592.
- SAS, Institute, 2006. SAS 0.13 User's Guide. Statistics. SAS Inst. Cary NC, US.
- SEMARNAT, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales, 2002. Superficie, tipo de uso y vegetación por entidad federativa. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. México, D.F., 2003. Revisado (ene/12/2011) In: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/estadisticas_2000/Presentacion/index.shtml
- SHAHBAZI F.; ASGHAR, A. J.; REZA, M. S. 2009. Agricultural soil compaction risk impact and land vulnerability evaluation of Souma Area (Iran), using engineering and technology prediction model of Alcor. ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings, June 15-19, 2009 Izmir, Turkey.
- SINGH, P.; KANWAR, S. R.; THOMPSON, L. T. 1991. Macropores characterization for two tillage systems using resin-impregnation technique. Soil Sci. Soc. Am. J. (55): 1674-1679.
- SINGH, R. P.; KANWAR, S.; THOMPSON, M. L. 1990. Measurement and characterization of macropores by using AUTOCAD and automatic image analysis. J. Environ Qual. (20): 289-294.
- UDAWATTA, R. P.; GANTZER, C. J.; ANDERSON, S. H.; GARRETT, H. E. 2008b. Agroforestry and grass buffer effects on pore characteristics measured by high-resolution X-ray computed tomography. SSSAJ 72 (2): 295-304.
- UDAWATTA R. P.; ANDERSON S.; GANTZER H. C.; GARRETT H. E. 2008a. Influence of Prairie Restoration on CT-measured Soil Pore Characteristics. J. Environ. Qual. 37: 219-228.
- VENTURA E.; NORTON L. D.; WARD K.; LÓPEZ-BAUTISTA M.; TAPIA-NARANJO A. 2003. A New Reservoir Tillage System for Crop Production in Semiarid Areas. Paper number 032315, 2003 ASAE Annual Meeting, 2003.
- WATTS D. B.; SMITH K. E.; WAY T. R.; TORBERT H. A.; PRIOR S. A. 2009. Tillage and Fertilizer applications practices effects on greenhouse gas flux (CO₂, CH₄ and N₂O) and yield in a corn cropping system. ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings, June 15-19 Izmir, Turkey. T8-004: 1-13.