

# EFFECTO DE LA LABRANZA PRIMARIA EN LA CALIDAD FÍSICA DEL SUELO, EVALUADA MEDIANTE PERMEÁMETRO DE DISCO

• Armando López-Santos •  
*Universidad Autónoma Chapingo, México*

• Guillermo González-Cervantes •  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

• Martín Cadena-Zapata •  
*Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México*

• José Luis González-Barrios •  
*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México*

## Resumen

Se evaluó el efecto de la labranza primaria sobre la conductividad hidráulica y porosidad de un suelo arcilloso. El experimento se realizó en el rancho "Los Ángeles", municipio de Saltillo, Coahuila, México (latitud 25.1108° N y longitud -100.9902° O). La conductividad hidráulica *in situ* ( $K_c$ ) fue medida con permeámetro de discos a tensión en la superficie ( $K_{c_0}$ ) y a 8 cm de profundidad ( $K_{c_8}$ ), mediante un diseño de tratamientos al azar para dos sistemas de labranza, arado de discos (*LAD*), multiarado (*LM*) y un testigo (*NL*), y cuatro tensiones de humedad: -150 (T1), -100 (T2), -50 (T3) y -10 (T4) mm. El movimiento del agua en perfil del suelo hasta el punto de saturación ( $K_{sc}$ ) se relacionó con la porosidad. La labranza se realizó en junio y julio del 2009, y la  $K_c$  se midió dos meses después. Con las lecturas de abatimiento del agua y el tiempo se calcularon las tasas instantáneas de infiltración en  $\text{cm h}^{-1}$ , para  $K_c$  y  $K_{sc}$ . *NL* tuvo los valores más altos de  $K_{sc}$  para los dos niveles en que se realizaron las mediciones; mientras que en la superficie,  $K_{sc_0}$  en *LM* tuvo valores más bajos; *LAD* tuvo el mismo comportamiento a 8 cm de profundidad en T4-10. Se observó también que cuando la tensión fue a -10 mm se expresa el funcionamiento de macroporos ( $> 30 \mu\text{m}$ ). Las velocidades para  $K_{sc_0}$  en los cuatro niveles de tensión no presentó diferencia significativa, mientras que para  $K_{sc_8}$ , las diferencias fueron altamente significativas ( $\alpha = 0.05$ ), cuyas velocidades promedio fueron de 87, 37 y 54  $\text{cm h}^{-1}$  para *NL*, *LAD* y *LM*, respectivamente.

**Palabras clave:** porosidad edáfica, permeámetro de carga variable, multiarado.

## Introducción

En suelos agrícolas, la estructura de la capa arable es la propiedad física que más se modifica por el laboreo mecánico, afectando con ello el almacenamiento y la disponibilidad de agua, nutrientes y oxígeno en la zona radicular, que es controlada por el espacio poroso del suelo (Buczko *et al.*, 2006; Peth *et al.*, 2010). Evaluaciones de la estructura en términos de los cambios en la

densidad aparente ( $D_a$ ), distribución del tamaño de poros, y la conductividad hidráulica saturada y no saturada son variables aceptadas como indicadores para valorar el efecto del laboreo en el estado físico del suelo (Buczko *et al.*, 2006; Peth *et al.*, 2010); por ejemplo, Schwärzel *et al.* (2011) encontraron que la abundancia de poros modificados por el laboreo son inestables y terminan colapsados como consecuencia de los ciclos de humedecimiento y secado.

Como parte de la labranza primaria, el multiarado es un implemento alternativo al arado de discos o de vertedera, usado actualmente en varias zonas de importancia agrícola de Latinoamérica y el Caribe, debido a que está orientado a la conservación de suelos y del agua (Ventura *et al.*, 2003; Martínez-Gamiño y Jasso-Chavarría, 2006), pero el efecto de este implemento sobre las propiedades físicas del suelo, en particular en su comportamiento hidrodinámico, 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).

La conductividad hidráulica es una propiedad del suelo que indica la movilidad del agua y depende del grado de saturación y la naturaleza del mismo (Gómez-Tagle *et al.*, 2008; Del Valle *et al.*, 2009; Peth *et al.*, 2010), puesto que el movimiento del agua del suelo tanto en su estado transitorio como en el estacionario es un buen reflejo de la estructura del sistema poroso, resultante de la yuxtaposición de las partículas de suelo y de los agregados (Elrick y Reynolds, 1992). Entre las propiedades hidráulicas que permiten cuantificar el tamaño, la distribución y la continuidad del sistema poroso son la conductividad hidráulica saturada, el potencial mátrico ( $\psi_m$ ) y la sortividad del suelo, siendo posible medir estas propiedades directamente en campo mediante el uso del permeámetro de disco, instrumento ampliamente usado en la actualidad (Perroux y White, 1988; Regalado *et al.*, 2003; Moret y Arrúe, 2007; Gómez-Tagle *et al.*, 2008; Schwärzel *et al.*, 2011).

Con base en el punto anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la labranza primaria en la calidad física de un suelo arcilloso, utilizando las propiedades hidrodinámicas, como conductividad hidráulica y porosidad.

## Materiales y métodos

### Características ecológico-geográficas del área de estudio

#### Localización

El experimento fue establecido en el rancho "Los Ángeles", municipio de Saltillo, Coahuila, ubicado al noreste de México (latitud 25.1108° N y longitud 100.9902° O), en la subprovincia denominada Gran Sierra Plegada, en la parte norte de la Región Fisiográfica Sierra Madre Oriental. El clima es semiárido [BWhw(x') (e)], con una precipitación media anual de 350 mm, y una temperatura media anual de 21 °C (García, 2003). Los suelos del lugar están formados principalmente por suelos del tipo luvisol en un 40% de la superficie total (INEGI, 1976).

#### Caracterización de las parcelas experimentales

El trabajo se realizó dentro de una sección de 35 ha del rancho "Los Ángeles", dedicado al uso agrícola desde hace poco más de 25 años, el cual había permanecido en descanso en los cinco años anteriores a la presente investigación. Antes de realizar los tratamientos de labranza, las características edáficas se determinaron en campo y laboratorio (cuadro 1). La vegetación predominante en las parcelas experimentales fue herbácea, compuesta principalmente por las siguientes familias: *Laminaceas*, *Chenopodaceas*, *Euphobaceas* y *Asteraceas*.

#### Medición de la densidad aparente

Los valores de la  $D_a$  inicial ( $D_{a_i}$ ) fueron determinados por gravimetría a partir de muestras extraídas con una barrena de núcleos a cuatro profundidades (5, 10, 20 y 25 cm) y la  $D_a$  final ( $D_{a_f}$ ) fue calculada por el método de la cadena para medir rugosidad en la superficie del suelo, técnica descrita por Saleh (1993), la cual también ha sido utilizada para medir depresiones, erosión del suelo (Kamphorst *et*

Cuadro 1. Caracterización de las parcelas experimentales.

Profundidad	pH	CE	Arcilla	Limo	Arena	$D_a$	Clase	N	M.O.	CaCO <sub>3</sub> total
cm		ds/m	%			g/g	textura	%		
0-30	8.3	2.1	44	24	32	900	Arcilla	0.2	4.2	37.3
30-60	8.3	0.51	58	28	14	1 100	Arcilla	0.1	2.8	37.7

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua y Suelo del Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN; pH = potencial hidrógeno; CE = conductividad eléctrica en desisimens (ds/m) a 25 °C;  $D_a$  = densidad aparente (kg m<sup>-3</sup>); N = nitrógeno (%); M.O. materia orgánica (%); CaCO<sub>3</sub> Tot. = carbonatos totales en %; clase textural de acuerdo con el Sistema de Clasificación de la USDA.

*al.*, 2000; Merrill *et al.*, 2001) y variaciones en la  $D_a$  por efecto de la labranza (Cadena *et al.*, 2004).

### Diseño experimental y análisis de datos

#### Tratamientos

El trabajo de investigación fue diseñado bajo un sistema completamente al azar, con tres repeticiones, considerando como fuentes de variación los siguientes tratamientos: 1) testigo sin laboreo mecánico, *NL*; 2) labranza con arado de discos, *LAD*; 3) labranza con multiarado, *LM*, y cuatro niveles de tensión: -150, -100, -50 y -10 mm. El control de las tensiones se realizó de acuerdo con lo descrito por Moret y Arrúe (2007).

La descripción de los tratamientos de labranza es la siguiente:

1. *LAD* (figura 1a). Se realizó la labor a 0.25 m de profundidad con un arado de tres discos de acero cóncavos de 60 pulgadas de diámetro, utilizando como fuente de potencia un tractor John Deere modelo 3200 de 84 HP. El resultado de la labor es corte, mezcla e inversión de los estratos del suelo, lo que resulta en un mayor cambio de los agregados del suelo en el perfil.
2. *LM* (figura b1). Se llevó a cabo con un multiarado, que es una combinación de varios implementos agrícolas. Presenta un timón tipo subsuelo, pero con la punta de un arado "ranchero". Las aletas posteriores permiten trozar las raíces. El multiarado

está diseñado para roturar el perfil del suelo en forma vertical sin invertirlo o mezclarlo. La profundidad de trabajo también se estableció a 0.25 m. Para esta labor se utilizó como fuente de potencia un tractor New Holland modelo 6810 de 95 HP (Martínez-Gamiño y Jasso-Chavarría, 2006).

El testigo fue el tratamiento de no labranza, *NL*.

#### Instrumentación y técnica de medición

En cada tratamiento se establecieron puntos de muestreo en forma aleatoria para las pruebas de infiltración a nivel de la superficie (0 cm) y a 8 cm de profundidad, utilizando un permeámetro de disco, el cual ha sido usado (Perroux y White, 1988) para medir propiedades hidráulicas de suelo en campo, permitiendo con ello identificar macroporos y rutas de flujo preferencial derivado de cambios por el majo de suelos, dispositivo utilizado en la presente investigación (figura 2) siguiendo el protocolo de campo descrito por Moret y Arrúe (2007).

#### Análisis de datos y métodos de cálculo

Las ecuaciones empleadas para determinar los flujos dinámicos y estacionarios partieron de la representación del modelo empírico propuesto por Kostiakov-Lewis (Kostiakov, 1932), el cual ha sido ampliamente usado en estudios de hidrología (Landini *et al.*, 2007; Parhi *et al.*, 2007; Dashtaki *et al.*, 2009), en particular por los

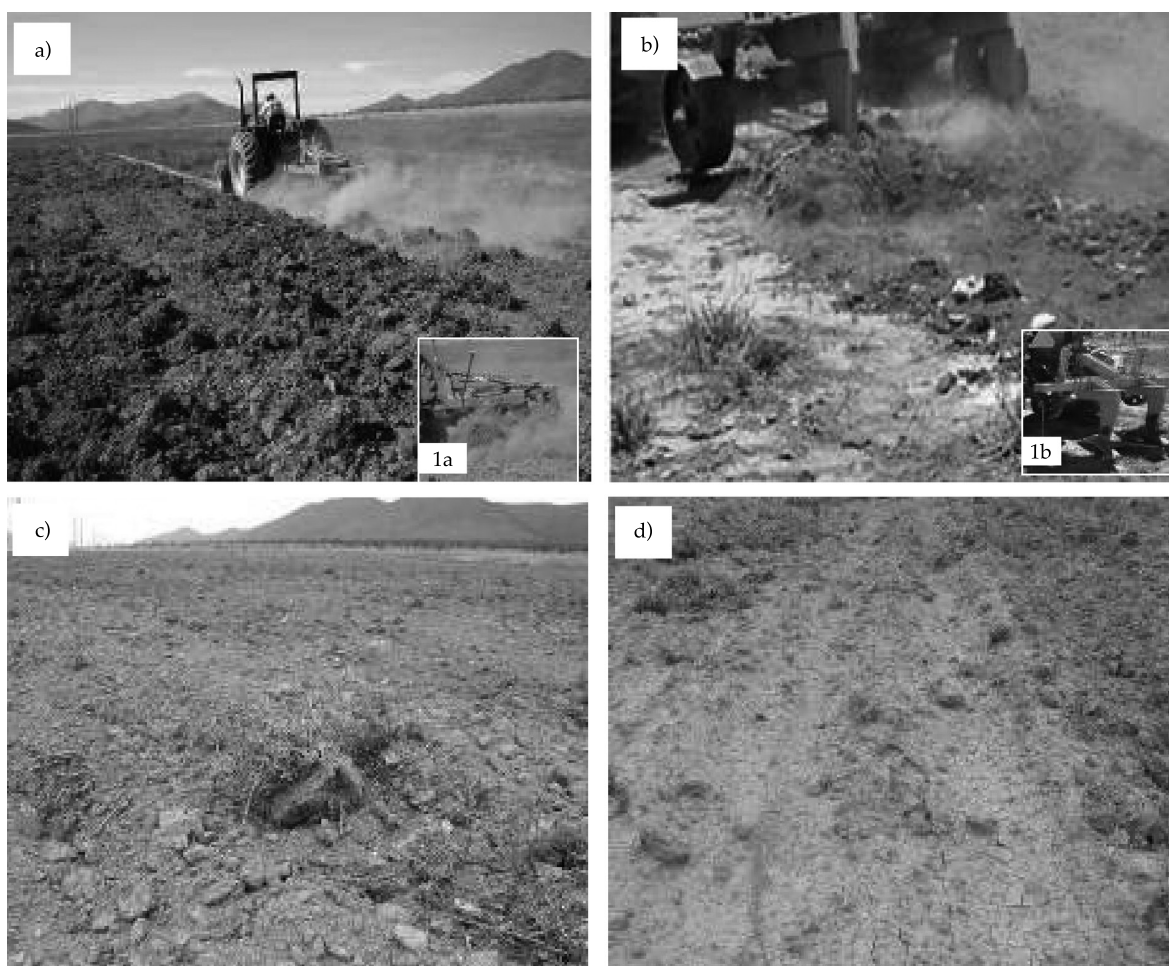


Figura 1. Laboreo del suelo e implementos utilizados por medio de LAD (a, 1a) y LM (b, 1b), y efecto de cada implemento sobre la rugosidad de la superficie del suelo y la vegetación (c) y (d), respectivamente.

buenos resultados reportados (Dashtaki *et al.*, 2009) en suelos arcillosos, cuya expresión es la siguiente:

$$I = Kt^{-n} \quad (1)$$

Donde  $I$  es la velocidad de infiltración en  $\text{cm h}^{-1}$ ;  $t$ , el tiempo en minutos;  $K$  representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial, cuando  $t = 1$ ;  $n$ , el parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo y varía de -1 a 0.

Los parámetros del modelo se obtuvieron mediante el cálculo de las tasas de infiltración a partir del gradiente de abatimiento o lecturas

instantáneas del reservorio con respecto al tiempo ( $\partial I / \partial t$ ), lecturas que fueron leídas y registradas en una plantilla cada minuto durante un promedio de 150 minutos para las 18 pruebas realizadas. Los dos tipos de flujo del fenómeno estudiado —flujo transitorio ( $Ft$ ) y flujo estacionario ( $Fe$ )— se identificaron mediante los cambios en la pendiente de las curvas de infiltración,  $I$ , y la lámina acumulada,  $z$  (figura 3).

Una vez identificados los grupos de valores para  $Ft$  y  $Fe$  de cada ensayo, se separaron los que correspondieron al flujo estacionario representando  $Ksc$ , los cuales, en teoría, se presentan cuando la diferencia entre la tensión

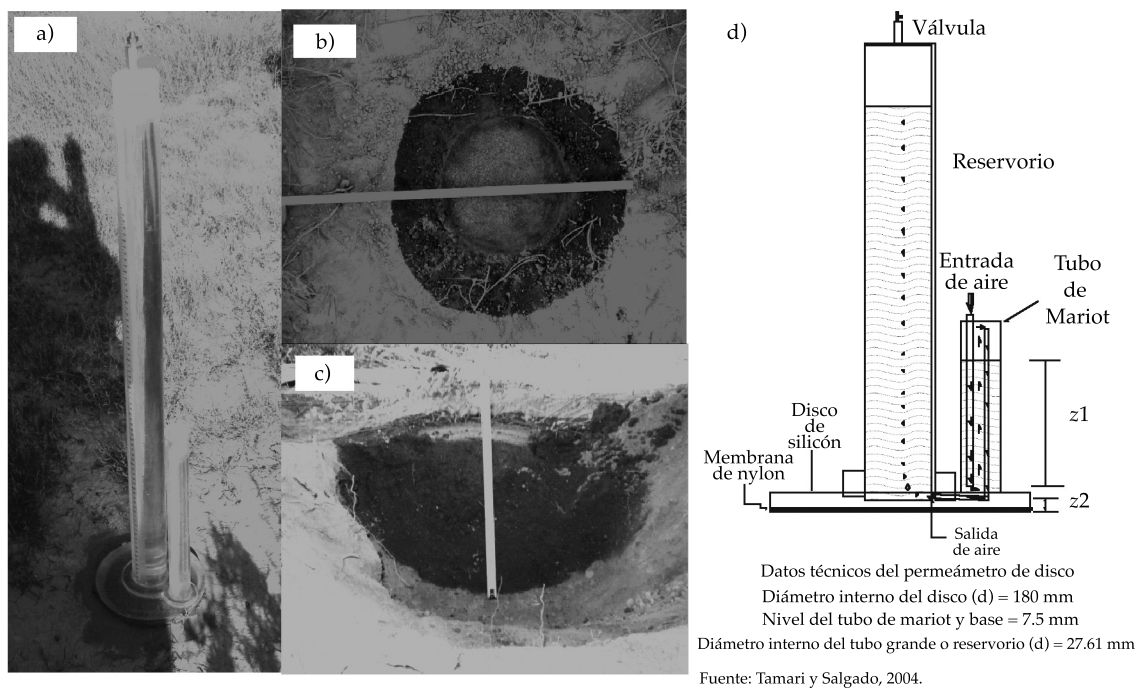


Figura 2. Permeámetro de disco (a), diámetro de humedad en la superficie (b) y profundidad del bulbo de humedad sobre el perfil de suelo (c), y modelo del permeámetro de disco usado (d).

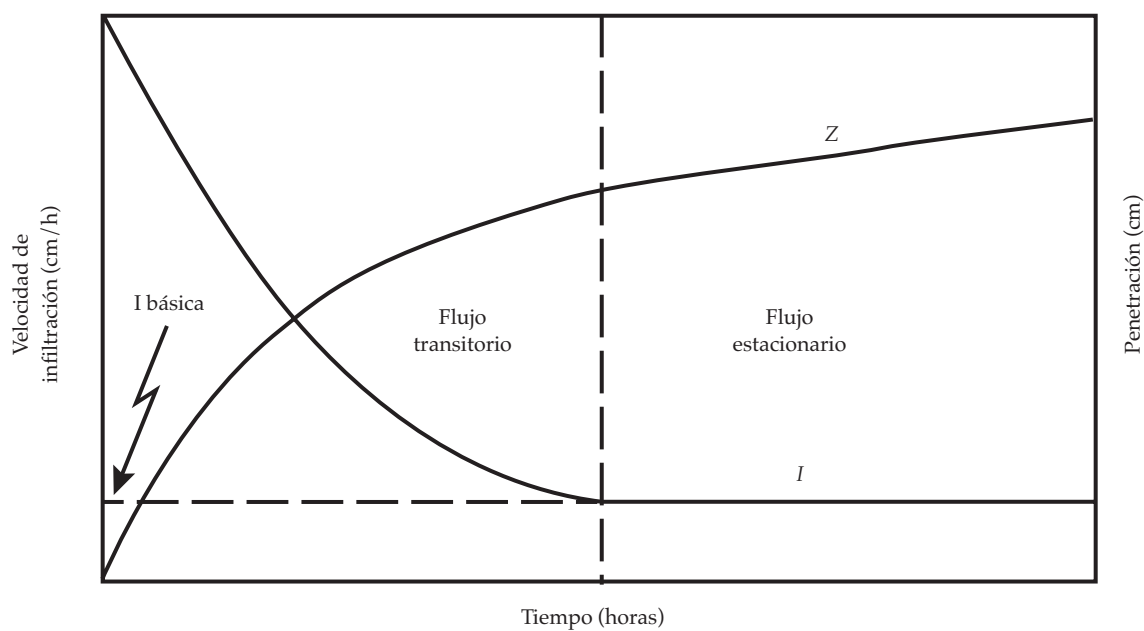


Figura 3. Modelo clásico que representa el fenómeno de infiltración e identificación de momentos de flujo ( $F_t$  y  $F_e$ ).

en el tubo de Mariot y fuerza de succión de los poros es igual a cero. Los valores de  $K_{sc}$  fueron sometidos a una prueba estadística (PROC ANOVA) y Prueba del Rango Estudentizado de Tukey (HSD) en SAS, para cada una de las variables de respuesta estudiadas con un nivel de significancia de 0.05 (SAS, 2004).

## Resultados y discusión

### Cambios en la densidad aparente y porosidad total

#### Densidad aparente ( $D_a$ )

La caracterización edáfica en cuanto a  $D_a$  es coincidente con las características de suelo analizadas y clasificados con base en el triángulo de texturas, ya que en la literatura se reporta (Narro, 1994) que para la clase textural denominada: "Arcilla en agregados", la densidad aparente se encuentra en el rango de 900 a 1 100  $\text{kg m}^{-3}$ , pues de acuerdo con el análisis mecánico de suelo (Hidrómetro de Bouyoucos) de muestras tomadas en las parcelas experimentales, en la profundidad 0-30 cm, las proporciones de arena, limo y arcilla fueron de 320, 240 y 440  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente (cuadro 2).

De acuerdo con ello (cuadro 2), los resultados indican dificultad para observar diferencias importantes en la  $D_a$ , aun cuando la

labranza es la principal fuerza que ejerce cambios en esta propiedad del suelo (Fuentes *et al.*, 2004; Udawatta *et al.*, 2008a y 2008b). En este caso se parte de una condición inicial de densidad muy baja, por lo que el efecto de la labranza en reducir la densidad es marginal, inclusive habría que considerar que se ha encontrado una relación directa entre la  $D_a$  y la resistencia mecánica (Blanco-Sepúlveda, 2009), en cuyo caso, aun dentro del límite crítico de  $D_a$  para este tipo de suelo, LM podría ser interpretado como un efecto de compactación en la capa superficial de suelo.

#### Porosidad

En complemento a lo anterior, también se calculó la porosidad total ( $P_t$ ), que teóricamente se puede estimar como resultado de la diferencia unitaria y la relación  $D_a$ /densidad real,  $D_r$  [ $P_t = 1 - (D_a/D_r)$ ], donde  $D_r$  se tomó con un valor constante igual a 2.65  $\text{g cm}^{-3}$  (Eynard *et al.*, 2004). De acuerdo con esto, y con base en los valores  $D_a$  antes y después de haber aplicado los tratamientos de labranza, se calculó la  $P_t$ , observando que ésta se encuentra entre 63 y 69%, donde NL es el tratamiento que presenta los valores más altos (figura 4).

Con la información mostrada (cuadro 2 y figura 5) se observa un efecto muy parecido al reportado por varios autores al evaluar el manejo de suelos agrícolas (Rasmussen, 1999;

Cuadro 2. Densidad aparente ( $D_a$ ) y porosidad total ( $P_t$ ), inicial y final por tratamiento.

Trat.	$D_a$ por estrato (cm)					$P_t$ por estrato (cm)			
	5	10	20	25		5	10	20	25
	$\text{kg m}^{-3}$					%			
$D_a$ inicial									
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
$D_a$ final									
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

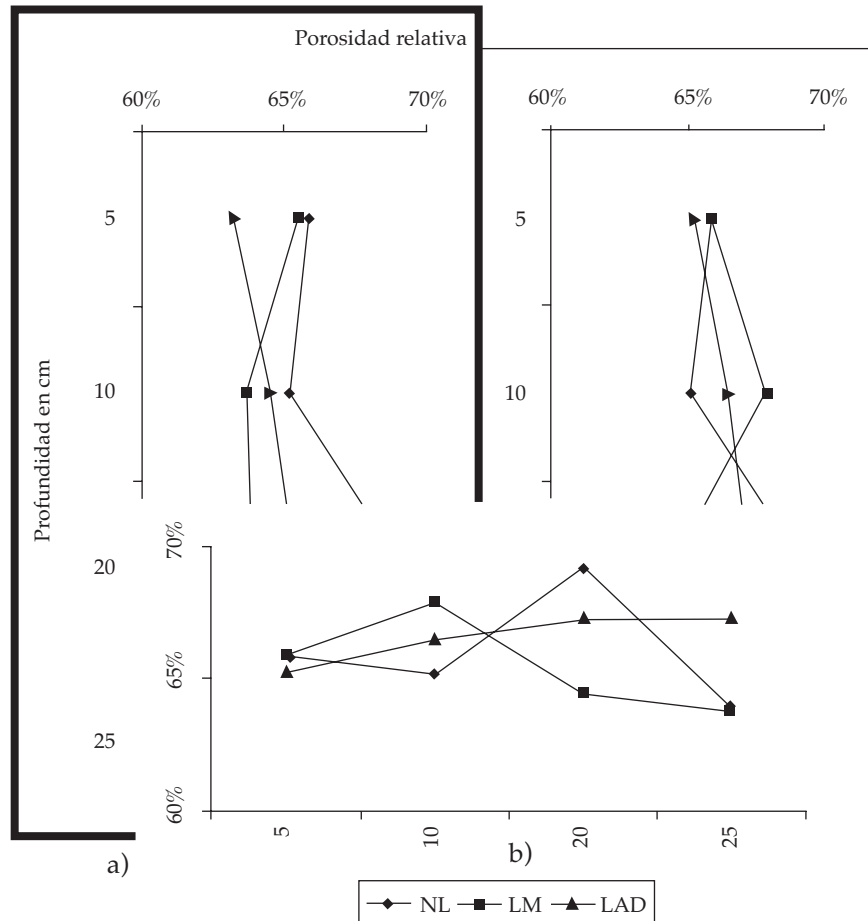


Figura 4. Perfil de porosidad por tratamiento antes (a) y después de la labranza (b).

Lipiec *et al.*, 2005; Cervinka *et al.*, 2009; Lozano *et al.*, 2010), puesto que la porosidad depende más de la organización de partículas que del tamaño de las mismas (Peth *et al.*, 2010; Schwärzel *et al.*, 2011).

Además, se observa que  $P_t$  en LM para las cuatro profundidades analizadas tiene un incremento promedio de  $1.4\% \pm 1.9\%$ , aunque en la segunda profundidad (10 cm) se presenta un aumento de  $4.2\%$ , mientras que LAD tiene un incremento promedio de  $1.9\% + 0.1\%$ , lo cual, evidentemente, indica cambios más uniformes en el perfil del suelo; asimismo, se observa también que la labranza en ambos métodos (LM y LAD) tiene el mayor impacto

en la capa superior del suelo (0-10 cm) que en el resto del perfil.

### Conductividad hidráulica en el suelo

#### Tasa de infiltración

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la porosidad edáfica, en los 18 sitios elegidos al azar se realizaron los ensayos fijando el permeámetro con tensiones equivalentes en mm de agua (Z1) en un gradiente de menos a más en el siguiente orden: -150 (T1), -100 (T2), -50 (T3) y -10 (T1), condición que se mantuvo hasta que cada ensayo llegó a un

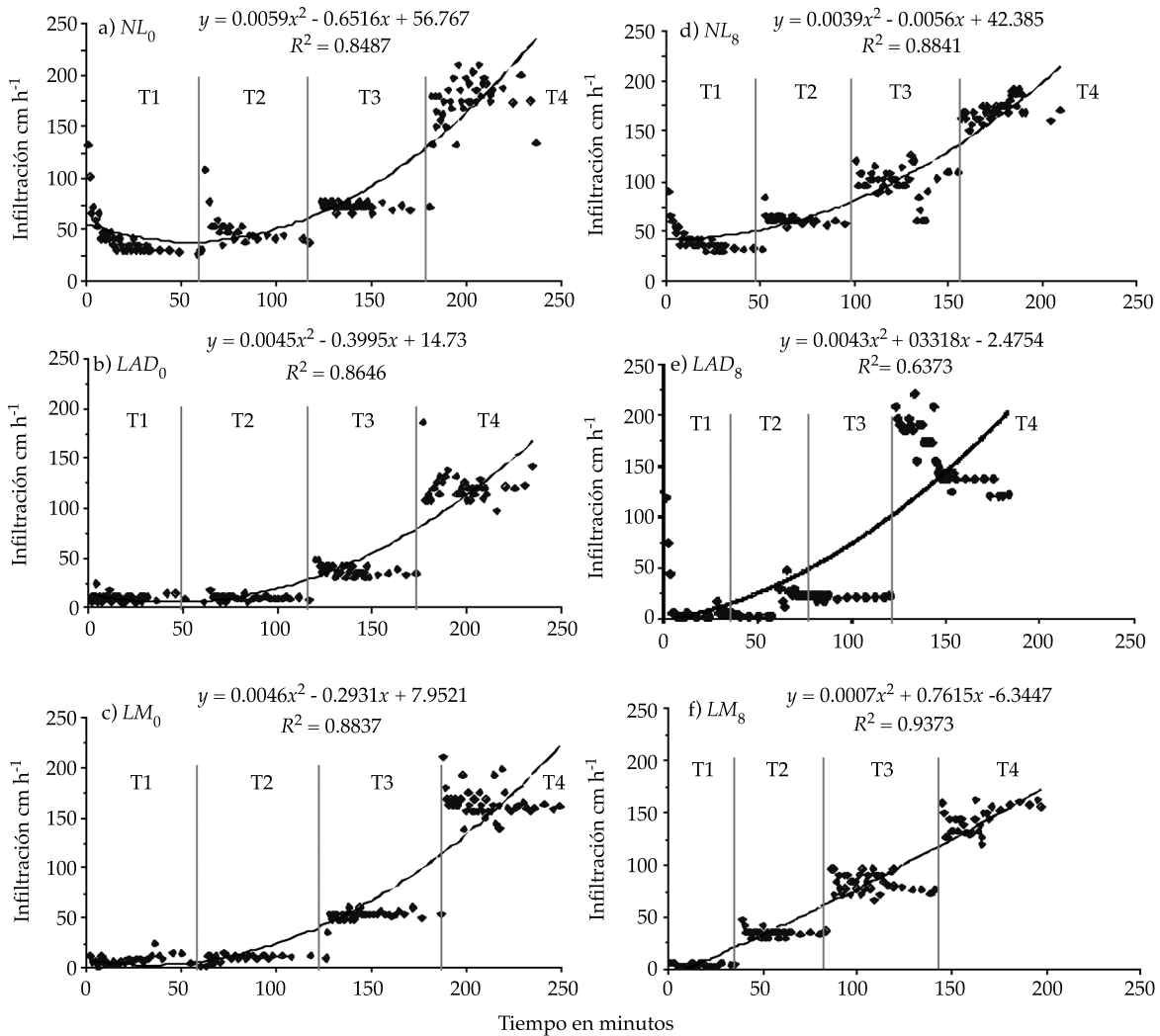


Figura 5. Velocidad de infiltración calculada en  $\text{cm h}^{-1}$  y ajuste de polinomios de segundo grado obtenidos a partir de las tasas de infiltración calculadas con datos de campo medidos en la superficie (a, b y c) y a 8 cm de profundidad (d, e y f) para cada tratamiento de labranza (NL, LAD y LM) y cuatro tensiones en mm: -150 (T1), -100 (T2), -50 (T3) y -10 (T4).

flujo estable. El movimiento del agua a través del suelo desde su fase dinámica hasta su fase estacionaria en términos generales se presenta bajo la siguiente descripción: la primera con sucesiones de puntos de rápido cambio, y la segunda con puntos con tendencia asintótica sobre el eje del tiempo; una vez calculadas las tasas instantáneas de infiltración con los valores del tiempo acumulado como variable independiente, se obtuvieron líneas de tendencia polinómicas de segundo grado,

cuyos modelos, considerando los coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ), podrían ser, con excepción de  $LAD_8$ , como aceptables, por ser en su mayoría mayores a 0.85 (figura 5).

#### Modelación K-L para representar el fenómeno de infiltración

Los datos obtenidos en campo fueron analizados mediante el modelo ya descrito, Kostiakov-Lewis (K-L), con lo cual fue posible



detectar los momentos  $Ft$  y  $Fe$ , en los que se presentó el valor de la infiltración a saturación en campo  $K_{sc}$  en cada una de los dos niveles donde se realizaron las pruebas. Es así que el  $Ft$  en ambos niveles del suelo y las velocidades obtenidas fueron de 16 a 240  $\text{cm h}^{-1}$ , y de 6 a 240  $\text{cm h}^{-1}$ , para  $K_{c_0}$  y  $K_{c_8}$ , respectivamente; los tiempos promedio a los que se alcanzó la saturación y por tanto el  $Fe$  fue en el primero y el segundo fue a los 143 y 106 min (cuadro 3).

Otras observaciones que se desprenden del análisis de los datos (cuadro 3) son: 1) toda la estructura de poros, desde los de menor

diámetro, probablemente  $< 30 \mu\text{m}$  (microporos) hasta  $> 30$  (macroporos), sufren modificaciones en su morfología y, por ende, en su función de transporte de agua y procesos asociados, como intercambio gaseoso suelo-atmósfera y movimiento vertical de solutos; 2) los ensayos realizados a nivel de la superficie del suelo para la tensión T2 muestran tendencias muy semejantes para los tratamientos de labranza. Tanto  $LAD_0$  como  $LM_0$  alcanzan valores de  $K_{sc}$  entre 9 y 10  $\text{cm h}^{-1}$ , pero los que se realizaron a 8 cm de profundidad indican que  $LAD_8$  afectó la porosidad, que funcionan en rangos de tensión

Cuadro 3. Tasas de infiltración inicial y final para  $Ft$  y  $Fe$ , medidos en campo y estimados con base en 18 modelos K-L, con diferentes valores de  $R^2$ .

Trat.	Tensión mm	Modelo K-L	$R^2$	Medidos				Estimados			
				$t$ min	$Kc$ $\text{cm h}^{-1}$	$t$ min	$K_{sc}$	$K_{c_e}$	$K_{sc_e}$	$Ft$	$Fe$
$NL_0$	T1-150	$I = 120.2 t^{0.406}$	0.878	1	132	29	30	120	31	2.08	1.49
	T2-100	$I = 481.61 t^{0.524}$	0.6748	66	54	117	37.9	54	40	1.73	1.60
	T3-50	$I = 810.08 t^{0.493}$	0.6079	125	77	141	72	75	71	1.87	1.85
	T4-10	$I = 8\,523 t^{0.747}$	0.1089	182	180	237	134	175	143	2.24	2.16
$LAD_0$	T1-150	$I = 22.516 t^{0.272}$	0.499	1	30	61	6.6	23	7	1.35	0.87
	T2-100	$I = 279.15 t^{0.744}$	0.5406	65	18	117	84	13	10	1.10	1.01
	T3-50	$I = 1\,647 t^{0.768}$	0.4648	120	48	173	33	42	31	1.62	1.50
	T4-10	$I = 22\,273 t^{0.988}$	0.3015	177	180	211	114	134	113	2.13	2.05
$LM_0$	T1-150	$I = 13.879 t^{0.283}$	0.4252	1	24	63	2	14	4	1.14	0.63
	T2-100	$I = 64.886 t^{0.409}$	0.2973	64	16	128	8	12	9	1.07	0.95
	T3-50	$I = 2\,633.9 t^{0.799}$	0.2313	127	65	187	30	55	40	1.74	1.61
	T4-10	$I = 3\,182.2 t^{0.553}$	0.2001	188	240	249	150	176	151	2.25	2.18
$NL_8$	T1-150	$I = 75.369 t^{0.241}$	0.8117	1	90	51	32.4	75	29	1.88	1.47
	T2-100	$I = 182.37 t^{0.26}$	0.2608	52	84	95	57.6	65	56	1.81	1.75
	T3-50	$I = 7\,796.2 t^{0.918}$	0.2762	101	120	134	84	116	89	2.06	1.95
	T4-10	$I = 28\,229 t^{0.995}$	0.2052	157	240	179	174	184	162	2.27	2.21
$LAD_8$	T1-150	$I = 254.06 t^{0.979}$	0.6053	1	120	24	2	254	11	2.40	1.05
	T2-100	$I = 122.48 t^{0.878}$	0.2065	28	18	57	3	7	4	0.82	0.55
	T3-50	$I = 1\,643.92 t^{0.757}$	0.2626	61	50	97	22	73	52	1.86	1.71
	T4-10	$I = 19\,680 t^{0.98}$	0.8133	123	210	183	122	176	119	2.25	2.08
$LM_8$	T1-150	$I = 4.5416 t^{0.109}$	0.2081	1	6	35	3	5	3	0.66	0.49
	T2-100	$I = 170.25 t^{0.404}$	0.3645	40	40	83	25	38	29	1.58	1.46
	T3-50	$I = 320.12 t^{0.297}$	0.3649	86	96	141	70	85	74	1.93	1.87
	T4-10	$I = 1\,601.6 t^{0.486}$	0.2255	145	160	198	120	143	123	2.15	2.09

Trat. = tratamiento;  $I$  = tasa de infiltración en  $\text{cm h}^{-1}$ ;  $t$  = tiempo; min= minutos;  $Kc$  = conductividad hidráulica inicial medida *in situ*;  $K_{sc}$  = conductividad hidráulica a saturación medida *in situ*;  $\log$  = logaritmo con base 10;  $K_{c_e}$  = conductividad hidráulica estimada;  $K_{sc_e}$  = conductividad hidráulica saturada estimada.

equivalente a T2 y T3; y 3) los ensayos realizados a 8 cm de profundidad para las tensiones T3 y T4, con excepción de  $LAD_g$ , también muestran tendencias de comportamiento muy semejantes, aunque las velocidades más altas son para  $NL_0$  y  $NL_g$ , ya que van desde 180 y 240  $cm\ h^{-1}$ , respectivamente, hasta llegar un flujo estable entre 134 y 174  $cm\ h^{-1}$ , comportamiento que de manera evidente contrasta con lo mostrado para los tratamientos de labranza en ambas profundidades.

#### *Efecto de la labranza y la succión del suelo sobre $K_{sc}$*

Cada uno de los ensayos de infiltración inició poniendo el tubo de Mariot a las alturas (Z1), equivalentes a la succión del suelo. Para encontrar  $K_{sc}$ , considerando que durante un ensayo la tasa instantánea de infiltración inicialmente es alta y decrece en el tiempo hasta un valor constante llamado clásicamente como infiltración básica controlada por la conductividad hidráulica saturada (Gómez-Tagle *et al.*, 2008; Del Valle *et al.*, 2009), se establecieron los siguientes supuestos: 1) las cuatro fuerzas de succión del suelo desde T4 hasta T1 son representativas de cuatro grandes grupos de poros; 2) en el perfil de suelo hay estratos uniformes en contenidos de humedad; y 3) además, existe el mismo tipo y distribución de partículas que conforman la capa de suelo estudiada.

La interpretación de las tasas instantáneas de  $K_{sc}$  permite ver el efecto negativo de la labranza en la velocidad promedio para los ensayos realizados, principalmente a 8 cm de profundidad. Con respecto al tratamiento de referencia ( $NL_g$ ), las tasas de infiltración en  $LAD_g$  en T3 y T2 fueron 20 y 4.7 veces más bajas que las registradas en  $NL_g$ ; mientras que para  $LM$ , la diferencia fue de 1.7 y 1.4 veces, respectivamente (figura 6).

Los resultados de Kung *et al.* (2005) indican que el flujo saturado ( $K_{sc}$ ) describe el movimiento de agua a través de poros grandes ( $\varnothing \geq 1 \times 10^{-3}$ ), sin embargo, habría que considerar que  $K_{sc}$  ocurre cuando el 95%

del espacio poroso total está lleno con agua y el 5% restante está lleno de aire atrapado, por lo cual se presume que en este caso el laboreo mecánico, además de los macroporos, también impactó microporos.

#### *ANOVA para $K_c$ y $K_{sc}$ , expresados como índices $Fe/Ft$*

Para detectar el impacto de la labranza sobre las tasa de infiltración para flujo transitorio y flujo estacionario, representado por las tasa de infiltración inicial y final, respectivamente, se estimaron índices  $Fe/Ft$ , por considerar que la labranza tiene un efecto proporcional sobre ambos tipo de flujo, ya que durante toda la prueba de infiltración,  $Ft$  es gobernado principalmente por los cambios que produce la labranza sobre los macroporos, y  $Fe$  por estar dominado por el funcionamiento de mesoporos y microporos ( $\varnothing \leq 1 \times 10^{-3}$ ), los cuales ejercen succiones en la matriz del suelo equivalentes a las tensiones del permeámetro establecidas entre -100 y -150 mm.

Del análisis de varianza (ANOVA) resultaron diferencias altamente significativas entre los promedios de los índices  $Fe/Ft$  para las estimaciones de los flujos ( $\log I$ ), transitorio y estacionario, que se derivaron de las mediciones realizadas a 8 cm de profundidad, en tanto que para las comparaciones entre los dos niveles (a 0 cm *versus* 8 cm), no hubo diferencia estadística (cuadro 4), aunque es importante mencionar que a este mismo nivel del suelo, aun cuando el efecto del laboreo estadísticamente no es significativo, las diferencias aritméticas indican que  $LM_0$  tiene un mayor impacto en macroporos, ya que la velocidad inicial en T4-10 fue 1.3 veces mayor que  $NL_0$  (240/180), y para esta misma tensión, la conductividad hidráulica saturada o  $K_{sc_0}$  fue 1.1 veces mayor que  $NL_0$  (150/134).

A 8 cm de profundidad, en los tratamientos de labranza sobre la conductividad hidráulica se observan diferentes efectos para cada nivel de tensión (T4 a T1) y condiciones de humedad

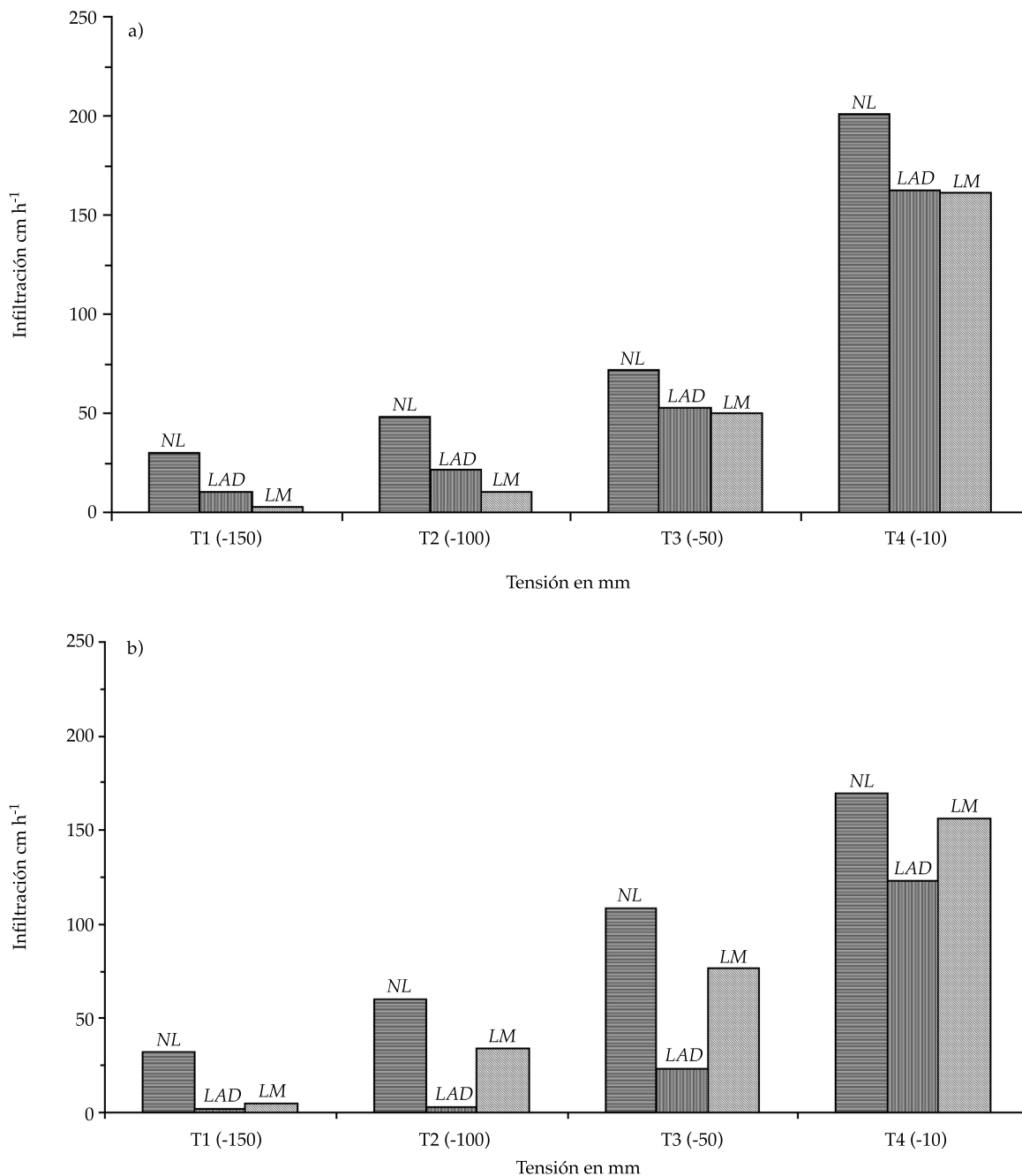


Figura 6. Tasa de infiltración para cuatro tensiones en los ensayos realizados a nivel de la superficie (a) y a 8 cm de profundidad (b).

en el suelo, de tal manera que de los valores medidos en campo de la conductividad hidráulica inicial ( $K_c$ ) y final ( $K_{sc}$ ) destaca lo siguiente (cuadro 3):

1. En T1-150, mientras que el  $F_t$  inicial en  $NL_8$  fue de  $90 \text{ cm h}^{-1}$ , para  $LAD_8$  y  $LM_8$  las velocidades fueron de  $120$  y  $6 \text{ cm h}^{-1}$ , respectivamente; el  $F_e$   $LAD_8$  y  $LM_8$

- presentaron valores muy semejantes. En T2-50, mientras  $Ft$  inicial para  $LAD_8$  y  $LM_8$  fue 4.6 y 2.1 veces menor que  $NL_8$ , para  $Fe$  en  $LAD_8$  y  $LM_8$  fue 19.2 y 2.3 veces menor que la velocidad registrada para el testigo. En T3-100, mientras el  $Ft$  inicial para  $LAD_8$  y  $LM_8$  son 2.4 y 1.25 menores que  $NL_8$ , el  $Fe$  en  $LAD_8$  y  $LM_8$  fue 3.8 y 1.2 veces menor que la velocidad que alcanzó el testigo.
- En T4-10, mientras el  $Ft$  inicial para los tratamientos de labranza  $NL_8$ ,  $LAD_8$  y  $LM_8$  fue de 240, 120 y 160  $cm\ h^{-1}$ , respectivamente, el  $Fe\ NL_8$  presentó 174  $cm\ h^{-1}$ , y para  $LAD_8$  y  $LM_8$  las velocidades presentaron valores muy cercanos entre ambos con 122 y 120  $cm\ h^{-1}$ , respectivamente.
  - Los tiempos en que se presenta el flujo estable para las mediciones realizadas tanto en la superficie como a 8 cm de profundidad varían aproximadamente en la misma proporción en que se mueve  $K_{sc}$ , cuyas características son las siguientes: a) para la primera profundidad,  $NL_0$  tiene el tiempo más corto con 29 min y el más largo, con 249 min, y corresponde a  $LM_0$  para T1-150 para el primero, y el segundo en el cambio de T3 a T4, respectivamente; b) en la segunda profundidad,  $NL_8$  se logra en 24 min y en los siguientes cambios, de T2 a T3 y de T3 a T4, tiene un promedio de 22 min.

Estos resultados sobre los tiempos en que se logra el flujo estable tienden a estar cerca a

lo reportado por otros autores para distintos tipos de suelos. La mayor parte los establecen en rangos de 30 a 60 min (Kosak y Ahuja, 2005), aunque Dashtaki *et al.* (2009) reportan un máximo de 270 min; asimismo, en cuanto a las tasas de  $K_{sc}$ , Gómez-Tagle *et al.* (2008) mencionan que para un suelo arcilloso con  $Da = 1.3\ g/g$ , las tasas de infiltración promedio fueron de 223.1  $cm\ h^{-1}$ , mientras que Pikul y Aase (2003) previamente habían reportado tasas en un rango de 100 a 200  $cm\ h^{-1}$ ; más recientemente, Schwärzel *et al.* (2011), mediante el uso del permeámetro de disco, reportan valores semejantes de conductividad hidráulica saturada para determinar el efecto a 7.5 cm de profundidad para dos años de laboreo en diez sitios con diferentes características edáficas.

## Conclusiones

Aunque los pequeños cambios en la densidad aparente ( $Da$ ) no clarificaron el efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo, es evidente que las distintas tasas de infiltración tanto para flujo dinámico como para flujo estable demostraron que el manejo del suelo mediante los implementos de labranza primaria utilizados en esta investigación producen cambios importantes en el funcionamiento del sistema poroso en la capa de suelo a 8 cm de profundidad, zona de almacenamiento del agua donde el agricultor pone mayor énfasis en la preparación de la cama de raíces para sus cultivos.

Cuadro 4. ANOVA para los índices  $Fe/Ft$  con base en las tasas de infiltración estimadas mediante el modelo K-L de los ensayos realizados a nivel de la superficie y a 8 cm de profundidad.

Trat./prof.	Tensión en mm			
	-150	-100	-50	-10
$NL_0$	0.7145 a	0.9246 a	0.9862 a	0.9618 a
$LAD_0$	0.6409 a	0.9244 a	0.9246 a	0.9646 a
$LM_0$	0.5542 a	0.8853 a	0.9228 a	0.9699 a
$NL_8$	0.7808 a	0.9625 a	0.9454 a	0.9749 a
$LAD_8$	0.4381 b	0.6684 b	0.9182 b	0.9247 b
$LM_8$	0.7439 c	0.9191 c	0.9670 c	0.9695 c

Letras distintas en una misma columna indican diferencia estadística (Alpha = 0.05).

Suponiendo una capa homogénea y tomando como referencia el comportamiento hidrodinámico que presenta el tratamiento testigo, se confirma que el multiarado es un implemento de labranza alternativo al uso de arado de discos, ya que tiene menos impacto sobre la estructura del suelo y el movimiento del agua a través del perfil bajo condiciones saturadas.

La técnica empleada en la presente investigación es un buen recurso para evaluar cambios inducidos por el laboreo mecánico, o por cualquier otro medio, ya que el movimiento del agua en el suelo está íntimamente relacionado con las funciones primordiales de la porosidad edáfica; en cuanto a su densidad, forma y distribución en el perfil del suelo, es un tema para seguir incursionando en este campo de la investigación científica.

Recibido: 10/06/11

Aceptado: 15/02/12

## Referencias

- BLANCO-SEPÚLVEDA, R. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*. Vol. 43, 2009, pp. 231-239.
- BUCZKO, U., BENS, O., and HÜTTL, R.F. Tillage effects on hydraulic properties and macroporosity in silty and sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 70, 2006, pp. 1998-2007, doi: 10.2136/sssaj2006.0046.
- CADENA, Z.M., MUÑIZ, G.T. y ZERMEÑO, G.A. Desempeño de implementos en términos de consumo de energía y calidad de trabajo. *Agraria Nueva Época*. Vol. I, núm. 3, 2004, pp. 12-18.
- CERVINKA, J., POKORNY, E., and BADALIKOVA, B. Penetration resistance during different kinds of soil cultivation when growing sugar beet. *ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings*. June, 15-19, Izmir Turkey, 2009, pp. T4-029: 1-5.
- DASHTAKI, S.G., HOMAEE, M., MAHDIAN, M.H., and KOUCHAKZADEH, M. Site-dependence performance of infiltration models. *Water Resour. Manag.* Vol. 23, 2009, pp. 2777-2790, doi: 10.1007/s11269-009-9408-3.
- DEL VALLE, P.R., ARJONA, E., BUENO, G. y OLESCHKO, L.K. Modelación de procesos del régimen hídrico del suelo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 27, 2009, pp. 161-168.
- ELRICK, D.E. and REYNOLDS, W.D. Infiltration from constant-head well permeameters and infiltrometers. *Advances in measurements properties: bringing theory into practice. SSSA Special Publication*. Vol. 30, 1992, pp. 1-24.
- EYNARD, A., SCHUMACHER, T.E., LINDSTROM, M.J., and MALO, D.D. Porosity and pore-size distribution in cultivated Ustolls and Usters. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 68, No. 6, 2004, pp. 1927-1934.
- FREY, S.K., RUDOLPH, D.L., and PARKIN, G.W. Spatial and temporal influences on hydraulic properties in macroporous tile-drained soil. *SSSAJ*. Vol. 76, No. 2, 2012, pp. 350-360, doi: 10.2136/sssaj2011.0194.
- FUENTES, J.P., FLURY, M., and BEZDICEK, D.F. Hydraulic properties in a silt loam soil under Natural Prairie, conventional till, and no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 68, 2004, pp. 1679-688.
- GARCÍA, E. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*. UNAM. Vol. 50, 2003, pp. 67-76, <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/569/56905009.pdf>.
- GÓMEZ-TAGLE, CH.A., GÓMEZ-TAGLE, R.A.F., BATLLE-SALES, J., ZEPEDA, C.H., GUEVARA, S.M.A., MALDONADO, L.S. y PINTOR, A.J. Conductividad hidráulica saturada de campo: uso de un infiltrómetro de carga constante y anillo sencillo. *Terra Latinoamericana*. Vol. 26, 2008, pp. 287-297.
- GUTIÉRREZ, R.F., GONZÁLEZ, H.A. y SERRATO, C.R. Evaluación tecnológica-explotativa del conjunto multiarado-tractor J.D. Modelo 4235, en labor de preparación primaria de un suelo Vertisol. *Ciencia Ergo Sum*. UAEM. Vol. 11, núm. 2, 2004, pp. 171-176.
- INEGI. *Cartografía de los temas: Edafológica, Geológica, Topográfica y Vegetación y Uso del Suelo. Cubrimiento: Agua Nueva (G14-C43) y Huachichil (G14-C44). Escala 1:50,000*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1976.
- KAMPHORST, E.C., JETTEN, V., GUÉRIF, J., PITKÄNEN, J., IVERSEN, B.V., DOUGLAS, J.T., and PAZ, A. Predicting depression storage from soil surface roughness. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 64, 2000, pp. 1749-1758.
- KOSAK, J.A. and AHUJA, L.R. Scaling of infiltration and redistribution of water across soil textural classes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 69, 2005, pp. 816-827.
- KOSTIAKOV, A.N. *On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity of studying it from a dynamic view for the purpose of amelioration*. *Trans. 6th Congr. Int. Soc. Sci. (Russian part A)*, pp. 17-21.
- KRAVCHENKO, A.N., WANG, A.N.W., SMUCKER, A.J.M., and RIVERS, M. L. Long-term differences in tillage and land use affect intra-aggregate pore heterogeneity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 75, 2011, pp. 1658-1666, doi: 10.2136/sssaj2011.0096

- KUNG, K.J., HANKE, M., HELING, C.S., KLADIVKO, E.J., GISH, T.J., STEENHUIS, a T.S., and JAYNES, D.B. Quantifying pore-size spectrum of macropore-type preferential pathways. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 69, No. 4, 2005, pp. 1196-1208.
- LANDINI, A.M., MARTÍNEZ, D., DÍAS, H., SOZA, E., AGNES, D. y SAINATO, C. Modelos de infiltración y funciones de pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Cl. Suelo. Argentina.* Vol. 25, núm. 2, 2007, pp. 123-131.
- LIPIEC, J., KUŚB, J., SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZC, A., and NOSALEWICZA, A. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research.* Vol. 89, No. 2, 2005, pp. 210-220.
- LOZANO, Z., ROMERO, H. y BRAVO, C. Influencia de los cultivos de cobertura y el pastoreo sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana. *Agrociencia.* Vol. 44, 2010, pp. 135-146.
- MARTÍNEZ-GAMIÑO, M.A. y JASSO-CHAVARRÍA, C. *El multirado, una herramienta en la agricultura de conservación en el Altiplano y Zona media de San Luis Potosí.* Desplegable para productores núm. 22. Soledad de Graciano Sánchez, México: SAGARPA-INIFAP-CIRNE, Fundación Produce, Campo Experimental San Luis-Matehuala, 2006.
- MERRIL, S.D., HUANG, C., ZOBECK, T.M., and TANAKA, D.L. *Use of the Chain set for Scale-Sensitive and Erosion-Relevant Measurement of Soil Surface Roughness.* Sustainable Global Farm. Stott, D.E., Mohtar, R.H., and Steinhard, G.C. (editors). Purdue University and USDA-ARS, National Soil Erosion Research Laboratory, 2001, pp. 594-600.
- MORET, D. and ARRÚE, J.L. Characterizing soil water-conducting macro- and mesoporosity as influenced by tillage using tension infiltrometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 71, 2007, pp. 500-506. doi: 10.2136/sssaj2006.0128.
- NARRO, F.E. *Física de suelos con enfoque agrícola.* México, D.F.: Editorial Trillas-UAAAN, 1994, 195 pp.
- PARHI, P.K., MISHRA, S.K., and SINGH, R. A modification to Kostiakov and modified Kostiakov infiltration models. *Water Resour. Manag.* Vol. 21, 2007, pp. 1973-1989, doi: 10.1007/s11269-006-9140-1.
- PERROUX, K.M. and WHITE, I. Designs for disc permeameters. *Soil Sci. Am. J.* Vol. 52, 1988, pp. 1205-1215.
- PETH, S., ROSTEK, J., ZINK, A., and HORN, M.R. Soil testing of dynamic deformation processes of arable soils. *Soil & Tillage Research.* Vol. 106, 2010, pp. 317-328.
- PIKUL, J.L. and AASE, J.K. Water infiltration and storage affected by subsoiling and subsequent tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 67, 2003, pp. 859-866.
- RASMUSSEN, K.J. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil and Tillage Research.* Vol. 53, No. 1, 1999, pp. 3-14.
- REGALADO, C.M., RITTER, A., ÁLVAREZ, J.B. y MUÑOZ, R.C. *Medida de la sortividad del suelo con el permeámetro de Philip-Dunne.* Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. Vol. VI. Álvarez-Benedí, J. y Marinero, P. (editores). 2003, pp. 119-124.
- SALEH, A. Soil roughness measurement, chain method. *J. Soil Water Conservation.* Vol. 48, 1993, pp. 527-592.
- SAS. SAS Institute Inc., SAS® 9.1.2. *Software and qualification tools user's guide.* Cary, NC-USA. México, D.F.: SAS Institute Inc., 2004.
- SCHWÄRZEL, K., CARRICK, S., WAHREN, A., FEGER, K.-H., BODNER, G., and BUCHAN, G. Soil hydraulic properties of recently tilled soil under cropping rotation compared with two-year pasture. *Vadose Zone J.* Vol. 10, 2011, pp. 354-366, doi: 10.2136/vzj2010.0035.
- TAMARI, S. y SALGADO, M. *Datos de la caracterización geométrica del DiPer (Disc Permeámetro).* Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2004.
- UDAWATTA, R.P., ANDERSON, S.H., GANTZER, C.J., and GARRET, H.E. Influence of prairie restoration on measured soil pore characteristics. *J. Environ. Qual.* Vol. 37, 2008a, pp. 219-228.
- UDAWATTA, R.P., GANTZER, C.J., ANDERSON, S.H., and GARRETT, H.E. Agroforestry and grass buffer effects on pore characteristics measured by high-resolution X-ray computed tomography. *SSSAJ.* Vol. 72, No. 2, 2008b, pp. 295-304.
- VENTURA, E., NORTON, L.D., WARD, K., LÓPEZ-BAUTISTA, M., and TAPIA-NARANJO, A. *A new reservoir tillage system for crop production in semiarid areas.* Paper number 032315. ASAE Annual Meeting, 2003.

## Abstract

LÓPEZ-SANTOS, A., GONZÁLEZ-CERVANTES, G., CADENA-ZAPATA, M. & GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L. *Effect of primary tillage on the physical quality of soil, as evaluated by disk permeameter*. Water Technology and Sciences (in Spanish). Vol. III, No. 4, October-December, 2012, pp. 127-141.

The effect of primary tillage on the hydraulic conductivity and porosity of clay soil was evaluated. The experiment was conducted in the "Los Angeles" ranch, Saltillo, Coahuila, Mexico (latitude 25.1108° N & length -100.9902° O). The hydraulic conductivity (Kc) was measured in situ with a tension disc permeameter at the surface (Kc<sub>0</sub>) and at a depth of 8 cm (Kc<sub>8</sub>). A random design treatment for two tillage systems was used, with disk plow (LAD), multi-plow (LM) and a control (NL), and four tension moistures: -150 (T1), -100 (T2), -50 (T3) & -10 (T4) mm. The movement of water in the soil profile up to the saturation point (Ksc) was associated with porosity. Tillage was conducted in June and July 2009, and Kc was measured two months later. Based on readings of water depletion and time, instantaneous infiltration rates were calculated in cm hr<sup>-1</sup> for Kc and Ksc. NL had the highest values of Ksc for the two levels at which measurements were made; while on the surface in LM<sub>0</sub>, Kc<sub>0</sub> had lower values; LAD<sub>0</sub> had the same behavior at a depth of 8 cm in T4-10. It was also noted that the functioning of macropores (> 30 μm) is expressed when the voltage is -10 mm. Ksc<sub>8</sub> speeds for the 4 voltage levels showed no significant difference, while for Kc<sub>8</sub> the differences were highly significant (alpha = 0.05), with average speeds of 87, 37 and 54 cm hr<sup>-1</sup> for NL, LAD, and LM, respectively.

**Keywords:** edaphic porosity, variable head permeameter, multi-plow.

## Dirección institucional de los autores

Dr. Armando López-Santos

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas  
Universidad Autónoma Chapingo  
Domicilio conocido s/n  
35230 Cd. Bermejillo, Durango, México  
Miembro de la Red Temática del Agua del Conacyt  
Teléfono: +52 (872) 7760 160  
Fax: +52 (872) 7760 043  
armando.lopezsantos@gmail.com  
alopez@chapingo.uruza.edu.mx

Dr. Guillermo González-Cervantes

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas  
y Pecuarias  
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación  
Agua-Suelo-Planta-Atmósfera  
km 6.5 margen derecha Canal Sacramento  
35071 Gómez Palacio, Durango, México  
Teléfono: +52 (871) 1590 105  
gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx

Dr. Martín Cadena-Zapata

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)  
Departamento de Maquinaria Agrícola  
Blvd. Antonio Narro s/n  
25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Teléfono: +52 (844) 4110 200  
Fax: +52 (844) 4110 200  
martincadena@uaaan.mx

Dr. José Luis González-Barrios

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas  
y Pecuarias  
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación  
Agua-Suelo-Planta-Atmósfera  
km 6.5 margen derecha Canal Sacramento  
35071 Gómez Palacio, Durango, México  
Teléfono: +52 (871) 1590 105  
gonzalez.barrios@inifap.gob.mx