

EFFECTO DEL SISTEMA DE LABRANZA CERO EN UN VERTISOL

Effect of No-tillage System in a Vertisol

César E. Ramírez-Barrientos^{1†}, Benjamín Figueroa-Sandoval¹, Víctor M. Ordaz-Chaparro¹ y Víctor H. Volke-Haller¹

RESUMEN

SUMMARY

El presente estudio se realizó para determinar el efecto en las características físicas y químicas del suelo con cuatro sistemas de labranza. Se seleccionaron como tratamientos parcelas comerciales localizadas en Valle de Santiago, Guanajuato, sujetas a labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011); se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 30 cm para los análisis correspondientes. En todos los tratamientos, el tipo de suelo fue Vertisol dústico, la pendiente fue menor que 1% y la clase textural fue arcilla. Los resultados mostraron que las parcelas con labranza cero poseyeron valores mayores de densidad aparente, pH, contenido de nitrógeno, de fósforo, de materia orgánica y estabilidad de agregados, aunque muchos de los resultados no fueron estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$). La mayoría de los cambios se atribuyeron a las diferencias en el contenido de materia orgánica en las parcelas y en algunas características los efectos no fueron consistentes. La porosidad calculada en láminas delgadas de suelo confirmó los resultados de porosidad obtenidos con los valores de densidad. Variogramas de la humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración no mostraron estructura de variabilidad espacial. El rendimiento fue mayor en el tratamiento de 11 años de labranza cero (L011).

Palabras clave: densidad aparente, estabilidad de agregados, porosidad, pH, contenido de nitrógeno, contenido de fósforo, contenido de materia orgánica, variabilidad espacial.

This study was conducted to determine the effect on physical and chemical soil characteristics with different tillage systems. Commercial plots were selected as treatments in Valle de Santiago, Guanajuato, Mexico. The plots were subjected to conventional tillage (LCON), one year of no-tillage (L001), three years of no-tillage (L003), and 11 years of no-tillage (L011). Soil samples were taken at depths of 0-10, 10-20, and 20-30 cm. In all treatments the soil was a Dystric vertisol with a slope of less than 1% and the textural class was clay. Results showed that no-tillage plots had higher values of bulk density, pH, N, P, and organic matter content and aggregate stability, but most of these results were not significantly different from those of conventional plots ($\alpha = 0.05$). Most of the changes were attributed to differences in organic matter content in the plots; however, in some characteristics the effects were not consistent. The porosity calculated in thin soil sheets confirmed the porosity results obtained with density values. Variograms of humidity, bulk density, and penetration resistance did not show any structure of spatial variability. Yield was higher in the L011 treatment.

Index words: bulk density, porosity, pH, nitrogen content, phosphorus content, organic matter content, spatial variability.

INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas, se ha cuestionado a la agricultura intensiva por los efectos que tiene sobre la degradación del suelo (Kemper y Derpsch, 1981; Larson y Osborne, 1982; Alegre *et al.*, 1991; Franzen *et al.*, 1994); como consecuencia, se ha originado una fuerte corriente que busca detener y revertir estos efectos mediante el desarrollo de tecnologías alternativas que permitan seguir produciendo e incrementando la producción con un marco de conservación del suelo y del agua.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Texcoco, estado de México.

[†] Autor responsable (rccesar@yahoo.com)

La labranza cero es una opción viable de producción para una gran diversidad de condiciones edáficas y climáticas que permite abatir drásticamente la erosión y conservar la humedad, además de reducir los costos de producción (Russell, 1977; Phillips *et al.*, 1980; Larson y Osborne, 1982; Brady, 1984; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994). El rendimiento que se obtiene con este sistema es aceptable y ha sido posible mantener o incrementar la rentabilidad de los cultivos con respecto a la labranza convencional, gracias a que las plantas se desarrollan satisfactoriamente a pesar de los cambios físicos y químicos que se presentan en el suelo (Barreto, 1989; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992).

Entre los cambios físicos que experimenta el suelo cuando se somete a un sistema de labranza cero destacan:

- a) la densidad aparente en muchos suelos se incrementa y la porosidad se reduce, debido a la compactación, aunque existen factores biológicos y ambientales que permiten que el intercambio gaseoso y las condiciones hídricas sean adecuadas (Brady, 1984; Mielke *et al.*, 1986; Lal, 1989; Ball y Smith, 1991; Blevins y Frye, 1993; Hussain *et al.*, 1998);
- b) la agregación y la estructura de los suelos se mejoran, existiendo un aumento de la estabilidad de agregados (Lal, 1989; Unger, 1990; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Hermawan y Cameron, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994; Cunha-Medeiros *et al.*, 1996), debido al incremento de la materia orgánica y de la actividad biológica (Wilson *et al.*, 1982; Lal, 1989; Soane, 1990; Logsdon y Linden, 1992; Franzen *et al.*, 1994);
- c) la retención de la humedad aumenta por la presencia de residuos en la superficie y por el incremento de la proporción de micro y mesoporos (Brady, 1984; Roth *et al.*, 1988; Lal, 1989; Alegre *et al.*, 1991; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Kovar *et al.*, 1992; Lal *et al.*, 1994; Hussain *et al.*, 1998);
- d) la temperatura del suelo se reduce, lo que incrementa el riesgo de retrasos en la germinación en lugares fríos y ayuda al desarrollo de los cultivos en climas cálidos (Alegre *et al.*, 1991; Kovar *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993);
- e) los residuos vegetales permiten reducir la evaporación y el escurrimiento superficial beneficiando la infiltración del agua en el suelo (Larson y Osborne, 1982; Brady, 1984; Unger, 1990;

Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Sembiring *et al.*, 1995);

f) la erosión se reduce significativamente, debido a la presencia de los residuos vegetales en la superficie (Lal, 1989; Unger, 1990; Alegre *et al.*, 1991; Blevins y Frye, 1993; Carter, 1994).

Acerca de los cambios químicos en sistemas de labranza cero se mencionan:

- a) el pH disminuye en la capa superficial del suelo por la colocación superficial de estiércoles y fertilizantes nitrogenados, y por la descomposición superficial de los residuos de los cultivos (Mahler y Harder, 1984; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994);
- b) el contenido de nitrógeno se incrementa en las capas superficiales, debido a la concentración de residuos vegetales en la superficie y a la reducción neta de la actividad biológica en los sustratos de origen vegetal en ausencia de labores de labranza (Russell, 1977; Maurya, 1986; Logan *et al.*, 1991; Langdale *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994; Bowman y Halvorson, 1998);
- c) el fósforo presenta una concentración mayor en las capas superficiales (Russell, 1977; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993; Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994);
- d) el contenido de potasio se incrementa en las capas superficiales, aunque en menor cantidad que el de nitrógeno y de fósforo, debido a la aplicación superficial de fertilizantes potásicos (Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992);
- e) el contenido de materia orgánica es mayor en las capas superficiales del suelo, ya que se dejan los residuos vegetales en la superficie, y se incrementa la actividad radical y biótica (Russell, 1977; Barreto, 1989; Logan *et al.*, 1991; Figueroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; Blevins y Frye, 1993);
- f) la capacidad de intercambio catiónico aumenta por los incrementos en el contenido de materia orgánica (Rhoton *et al.*, 1993; Lal *et al.*, 1994).

Otros cambios son: mayor actividad radical en las capas superficiales del suelo, dado el mejoramiento de las condiciones de humedad y temperatura por la presencia de residuos vegetales en la superficie (Black, 1968; Lal, 1989; Unger, 1990; Bathke *et al.*, 1992; Blevins y Frye, 1993; Carter, 1994).

En México, hay experiencias en la aplicación de labranza cero desde hace 20 años; sin embargo, su adopción ha sido lenta y se ha mantenido estancada en los últimos años [350 000 ha (FIRA, 1996)].

Considerando estos antecedentes, es importante obtener información de los cambios que ocurren en el suelo con este sistema en parcelas de diferente antigüedad. Para este propósito, se eligió el municipio de Valle de Santiago, Guanajuato, donde se ubican algunas de las parcelas comerciales con mayor antigüedad en México (FIRA, 1996). El trabajo se realizó en un mismo tipo de suelo y el objetivo fue determinar el efecto del sistema de labranza cero sobre algunas características físicas y químicas del suelo en parcelas con un período de manejo de hasta 11 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el municipio de Valle de Santiago, Gto., cerca del Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego, del Banco de México-FIRA. El suelo se clasifica como Vertisol déstrico, de acuerdo con el sistema propuesto por la FAO (FAO-UNESCO, 1988), con un contenido de arcilla de 50 a 65% y de limo de 25 a 35%, y se cultiva con la rotación anual maíz-trigo.

Se seleccionaron cuatro parcelas ubicadas en terrenos planos, con pendientes menores que 1%; cada parcela correspondió a los sistemas de labranza: labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011). Las labores de labranza se realizaron con maquinaria. En LCON fueron: rastreo, barbecho, dos rastreos, surcado, siembra-fertilización y dos cultivadas; en los manejos de labranza cero sólo se realizó la siembra-fertilización. Los implementos usados en LCON fueron: rastra de discos, arado de discos, surcadora de timones, sembradora-fertilizadora unitaria de precisión convencional; en labranza cero se utilizó una sembradora-fertilizadora especializada de discos.

La toma de muestras de suelo se hizo en cinco etapas. En la primera etapa (I), se tomaron muestras de suelo en cada parcela en las capas 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm de profundidad; estas muestras se tomaron en el mes de noviembre de 1999, antes del ciclo otoño-invierno (OI) 1999/2000 previo a las labores de preparación del terreno en LCON; el muestreo en las parcelas se realizó sobre una línea diagonal, con respecto a la orientación de los surcos, tomándose las muestras en cinco sitios, distantes 15 m uno de otro, dentro de las camas de siembra, para conformar una sola muestra compuesta de 2 kg en cada parcela y para

cada capa; con estas muestras se determinaron las características químicas y físicas del suelo, excepto la estabilidad de agregados. La segunda etapa (II) se hizo el mismo día que la etapa I, usando el mismo método de muestreo; se colectaron tres muestras de suelo por parcela, de 1.5 kg cada una, para determinar la estabilidad de agregados. En la tercera etapa (III), se recogieron las muestras de suelo, a 10 cm de profundidad, 40 días después de la siembra y se utilizaron en el análisis de variabilidad espacial; el método de muestreo fue sistemático sobre una retícula cuadrada con sitios equidistantes a 10 m, cubriendo la totalidad de la parcela. En la cuarta etapa (IV), se tomaron las muestras de suelo para el estudio de la porosidad con imágenes de láminas delgadas; se extrajeron por duplicado, de cada capa y del centro de las parcelas LCON y L011, muestras no disturbadas 45 días después de la siembra del cultivo de trigo. En la quinta etapa (V), se obtuvieron las muestras de suelo para la determinación de la distribución radical; y se realizó cuando el cultivo llegó a su madurez fisiológica, a finales del mes de abril de 2000; el método de muestreo consistió en colectar las muestras en tres sitios equidistantes a 20 m en el centro de las parcelas. La extracción de las muestras, en las etapas I, II y V, se hizo con pala recta, cuchillo y espátula; en la etapa III, se usó una barrena de acero terminada en un sinfín; en la etapa IV, se utilizó un muestreador de densidad aparente adaptado con el que se obtuvieron cilindros de suelo no disturbados.

Características Físicas del Suelo

Las características físicas se determinaron con las metodologías descritas en Klute (1986) y fueron: densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), porosidad (f), humedad a capacidad de campo (CC), humedad a punto de marchitez permanente (PMP), humedad aprovechable (HA), índice de contracción (IC), estabilidad de agregados en seco (EAS), estabilidad de agregados en húmedo (EAH) y el diámetro medio ponderado de agregados en seco (DMP).

La D_a se midió con el método de la parafina (Campbell y Henshall, 1991) y con el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986a); la primera determinación se hizo en terrones del suelo secado al aire y, la segunda, en muestras de suelo que se humedecieron y se estabilizaron a -300 kPa (CC) en cilindros de PVC de 5 cm de diámetro y 3 cm de altura.

La Dr se determinó con el método del picnómetro (Blake y Hartge, 1986b) y se utilizó junto con los valores de la Da para determinar la porosidad del suelo (Brady, 1984) en condiciones de humedad a CC (fc) y de suelo seco (fp). La porosidad también se analizó mediante imágenes obtenidas de láminas delgadas de 60 μm de espesor (Ordaz-Chaparro, 1995), la captura y el proceso de medición se hizo con la ayuda de un estereoscopio y el programa de computo IMAGE-PRO PLUS v.4.0 w; el aumento utilizado fue el de 0.67X. La EAS se hizo aplicando el método de Yoder (Kemper y Rosenau, 1986), los resultados se usaron para calcular el estado estructural del suelo (EES), el coeficiente de estructuración (KE) y el DMP; los tamices utilizados tuvieron las aperturas de malla: 11.50, 4.76, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.10 mm. Para determinar la EAH también se empleó el método de Yoder (Kemper y Rosenau, 1986) y el juego de tamices tuvo las aperturas de malla: 4.76, 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 y 0.10 mm. Para obtener el IC, se preparó pasta a saturación de cada muestra, con la que se llenó un juego de cápsulas de aluminio de 4.54 cm de diámetro y 1.38 cm de altura, las cuales se secaron al aire durante dos días y, posteriormente, se secaron en la estufa hasta peso constante; el volumen contraído se estimó mediante el rellenado de las cápsulas con parafina.

Características Químicas del Suelo

Las características químicas se determinaron con las metodologías descritas en Page *et al.* (1982), considerando las indicaciones de otros autores y fueron: pH, contenido de nitrógeno total (N), de fósforo (P), de potasio (K), de materia orgánica (MO) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Para determinar el pH, se utilizó un potenciómetro digital, la calibración se hizo con dos soluciones estándares de pH 4.5 y 7.0, ajustándolo cada 15 lecturas (Aguilar-Santelises, 1988). El N total se determinó mediante combustión húmeda con el método microkjeldahl modificado para inclusión de nitratos (Aguilar-Santelises, 1988). El P se obtuvo mediante el método Olsen, por colorimetría (Olsen y Sommers, 1982; Aguilar-Santelises, 1988), utilizándose un espectrofotómetro. El K y la CIC se obtuvieron por el método del acetato de amonio, 1 N pH 7.0 (Aguilar-Santelises, 1988; Tan, 1996); en la determinación del K se usó un flamómetro; la CIC fue determinada por destilación y titulación del amonio.

La MO se determinó por el método de Walkley y Black (Schnitzer, 1982; Aguilar-Santelises, 1988), mediante la oxidación de la MO con dicromato de potasio en un medio ácido.

Características Biológicas

Las características biológicas obtenidas fueron la distribución radical (DR) y el rendimiento (R) producido al final del ciclo del cultivo de trigo. La DR se determinó mediante la obtención del peso seco de las raíces (Böhm; 1979) contenidas en cubos de 10 cm de lado en cada capa estudiada; la separación de las raíces se hizo con un tamiz con apertura de malla de 0.10 mm en húmedo. El rendimiento se determinó mediante entrevista con los dueños de las parcelas estudiadas, siendo sólo verificable el proporcionado por el Banco de México-FIRA mediante la revisión de sus registros.

Variabilidad Espacial

En el análisis de variabilidad espacial, realizado en LCON y L011, se determinaron: humedad volumétrica (HV), humedad gravimétrica (HG), densidad aparente (Da) y resistencia a la penetración (RP). El análisis se hizo mediante la elaboración de los variogramas (McBratney y Webster, 1986; Oliver y Webster, 1991) de cada una de las características estudiadas. La HG se obtuvo secando las muestras en la estufa y la HV se determinó con un equipo de reflectometría TDR (Time Domain Reflectometry). La RP se determinó midiendo el índice de cono con un penetrómetro a intervalos de 2.5 cm y hasta una profundidad de 30 cm. La Da se determinó relacionando los valores de humedad, sustrayendo a la unidad el cociente HV/HG. Para la obtención de los variogramas se usó el programa de computo S-PLUS 2000 w, mediante la función "Variogram". Las gráficas de los variogramas se realizaron en el programa de computo EXCEL.

Análisis Estadístico

El análisis de varianza y la comparación de medias, con la prueba de Tukey, se hicieron con el paquete de computación SAS, Versión 8 (SAS Institute, 1999), considerando un diseño factorial 4 x 3 (sistemas de labranza, profundidades).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los análisis físicos, químicos y biológicos del suelo se ordenaron de acuerdo con el sistema de labranza y con las capas estudiadas según se presentan en el Cuadro 1.

Características Físicas del Suelo

Los valores de densidad real (D_r) se encontraron dentro del intervalo propuesto por Marshall y Holmes (1979) y cercanos al valor convencional de 2.65 Mg m^{-3} .

En densidad aparente por el método de la parafina (Dap), no existió diferencia marcada entre los sistemas de labranza en las capas inferiores; los valores mayores se observaron en LCON con diferencias significativas respecto a L001 y L003 en la capa de 0 a 10 cm. En densidad aparente por el método del cilindro (Dac), los sistemas de labranza cero tuvieron valores mayores, en especial L011, lo que coincidió con lo reportado por Ball y Smith (1991), Franzen *et al.* (1994) y Hussain *et al.* (1998), quienes atribuyeron el fenómeno a una disminución de la macroporosidad. También se observó un incremento con la profundidad, lo que concordó con lo reportado por Marshall y Holmes (1979), Brady (1984) y Dao (1996). Considerando que el intervalo de la densidad aparente en suelos de textura fina es de 1.0 a 1.4 Mg m^{-3} (Brady, 1984), los valores obtenidos con el método de la parafina fueron altos, mientras que los valores con el método del cilindro coincidieron más con el intervalo señalado; es posible que los datos generados con el método de la parafina se deban a la fuerte contracción ocurrida en los terrones usados, lo que, a su vez, explica las diferencias entre sistemas en labranza cero.

Con relación a la porosidad obtenida cuando el suelo se secó al aire (fp), se esperaba que el mayor contenido de materia orgánica en L011 propiciara una mayor porosidad; sin embargo, no fue así, ya que L001 y L003 tuvieron valores mayores. Cuando el suelo se humedeció a CC (fc), la porosidad obtenida fue mayor en LCON, antes de realizarse la preparación del terreno, que en el resto de los sistemas; además, se apreció una ligera disminución en L011 y una disminución en las capas inferiores respecto a la capa de 0 a 10 cm. Los valores de porosidad en las láminas delgadas mostraron un comportamiento similar con los valores para el suelo húmedo, siendo LCON el que presentó mayor

porosidad en las dos primeras capas (34 y 26%) con relación a L011 (18 y 13%), para igualarse en la capa de 20 a 30 cm (12%); sin embargo, existieron diferencias entre estos valores y los de fc, siendo mayor en LCON. La mayoría de los trabajos realizados reportan que la porosidad total se reduce en los sistemas de conservación y conforme la profundidad se incrementa (Mielke *et al.*, 1986; Blevins y Frye, 1993); por lo que las diferencias de los valores respecto a fp y fc pueden deberse al efecto de la materia orgánica en el proceso de contracción.

Con relación al coeficiente de estructuración (KE), se observó que éste fue mayor en los sistemas de labranza cero y se apreció una tendencia de que KE fue mayor conforme el tiempo se incrementó en labranza cero. De manera similar, el estado estructural del suelo (EES) fue mayor en los sistemas de labranza cero. Considerando que valores altos de KE y EES están asociados a una mejor estructura del suelo, resultó que los sistemas de labranza cero tuvieron una mejor estructura con relación a la estabilidad de sus agregados en seco. En la estabilidad de agregados en húmedo (EAH), se observó que los valores mayores se encontraron en los sistemas de labranza cero, no obstante que las diferencias son pequeñas con respecto a LCON; esto concuerda con lo reportado por Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), Rhoton *et al.* (1993) y Cunha-Medeiros *et al.* (1996). El diámetro medio ponderado (DMP) de los agregados mostró una ligera disminución conforme se incrementó el número de años bajo labranza cero y conforme se incrementó la profundidad, lo que difiere de lo hallado por Cunha-Medeiros *et al.* (1996); este comportamiento se debe a que en los sistemas de labranza cero los agregados estables fueron de menor tamaño a los encontrados en LCON.

Los índices de contracción (IC) mayores ocurrieron en LCON, lo que se atribuyó al menor contenido de materia orgánica; se apreció un ligero incremento al aumentar la profundidad en LCON, L001 y L003.

Con relación a CC, PMP y HA, se observó que LCON presentó los valores más elevados, tanto en CC, como en PMP, dando valores mayores de HA, lo cual se atribuyó a que la porosidad fue mayor en condiciones de suelo húmedo, con respecto al resto de los sistemas cuyos valores fueron cercanos entre sí. Roth *et al.* (1988), Alegre *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), y Hussain *et al.* (1998) indicaron que en labranza cero hay un mayor

Cuadro 1. Características físicas, químicas y biológicas del suelo en sistemas de labranza en Valle de Santiago, Guanajuato. †

Sistema	Profundidad cm	Dr [†]	Dap	Dac	fp	fc	KE	EES	EAH	DMP	IC	CC
			Mg m ⁻³			%	mg kg ⁻¹	%	%	mm	%	%
LCON	0 a 10	2.50 g [§]	1.71 ab	0.84 f	32 cd	66 a	1.0 k	50 j	70 abc	9.2 a	62 abc	65 b
	10 a 20	2.50 g	1.74 ab	0.86 ef	31 cd	66 a	0.9 i	47 k	72 abc	9.1 b	63 ab	71 ab
	20 a 30	2.45 i	1.76 a	0.93 ef	28 d	62 abc	2.1 h	67 g	75 ab	7.9 h	64 a	75 a
L001	0 a 10	2.46 h	1.48 de	0.97 de	40 ab	61 bcd	1.5 j	60 i	73 abc	8.0 e	55 cde	48 c
	10 a 20	2.51 f	1.65 abcd	1.18 bc	34 bcd	53 efg	2.1 g	68 f	77 ab	8.1 c	56 bcde	52 c
	20 a 30	2.54 d	1.72 ab	1.17 c	32 cd	54 ef	2.6 d	72 d	73 abc	7.2 d	59 abcd	52 c
L003	0 a 10	2.59 b	1.39 e	0.97 de	46 a	63 ab	2.4 e	71 e	63 c	6.8 i	48 e	50 c
	10 a 20	2.46 h	1.59 abcd	1.07 cd	35 bc	57 de	4.8 b	83 b	67 bc	6.2 k	57 abcd	52 c
	20 a 30	2.50 g	1.52 cde	1.17 c	39 b	53 efg	1.7 i	62 h	78 a	8.1 i	60 abcd	51 c
L011	0 a 10	2.52 e	1.59 bcd	1.08 cd	37 bc	57 cde	2.2 f	68 f	79 a	7.8 g	55 bcde	47 c
	10 a 20	2.61 a	1.68 abc	1.32 a	36 bc	49 fg	5.2 a	84 a	74 ab	6.4 j	48 e	46 c
	20 a 30	2.56 c	1.61 abcd	1.30 ab	37 bc	49 g	4.0 c	80 c	67 bc	6.1 c	52 de	50 c

Sistema	Profundidad cm	PMP	HA	pH	N	P	K	MO	CIC	DR	R
			%		%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	cmol _c kg ⁻¹	%	t ha ⁻¹
LCON	0 a 10	42 a	23 abc	7.8 bc	0.10 gh	3 g	920 bcde	2.1 d	38 a	69 d	7.0 b
	10 a 20	40 a	31 ab	7.5 cd	0.12 ef	4 fg	1320 a	2.0 de	27 b	19 e	
	20 a 30	42 a	33 a	7.6 cd	0.09 h	2 g	1040 abcd	1.5 f	16 de	12 g	
L001	0 a 10	27 bc	21 bc	5.4 h	0.20 b	32 c	840 cde	4.5 b	19 cd	94 a	6.5 c
	10 a 20	30 bc	22 bc	7.1 e	0.20 b	22 de	1040 abcd	3.2 c	17 de	31	
	20 a 30	31 bc	22 bc	8.3 a	0.11 fg	9 f	760 de	2.2 d	17 e	3 k	
L003	0 a 10	29 bc	21 bc	7.4 d	0.16 c	19 e	1120 abcd	2.4 d	25 b	84 b	5.5 d
	10 a 20	31 bc	21 bc	7.9 b	0.12 ef	4 fg	1000 abcd	1.5 ef	20 c	9 i	
	20 a 30	31 b	20 c	7.7 bc	0.14 d	2 g	640 e	1.5 f	21 c	7 j	
L011	0 a 10	25 c	22 bc	6.1 g	0.23 a	53 a	1240 ab	5.4 a	19 cd	73 c	7.5 a
	10 a 20	26 bc	20 c	6.7 f	0.14 de	41 b	1160 abc	2.1 d	16 e	16 f	
	20 a 30	26 bc	24 abc	7.5 cd	0.11 fg	25 d	1000 abcd	1.3 f	17 de	11 h	

† Valores de características físicas y químicas del suelo antes de las labores de preparación del terreno en sistemas de labranza convencional (LCON), un año de labranza cero (L001), tres años de labranza cero (L003) y 11 años de labranza cero (L011).

‡ Dr = densidad real; Dap = densidad aparente por el método de la parafina; Dac = densidad aparente por el método del cilindro; fp = porosidad del suelo seco al aire; fc = porosidad del suelo a CC; IC = índice de contracción; KE = coeficiente de estructuración; EES = estado de estructuración; EAH = estado medio ponderado; DMP = diámetro medio ponderado; EAH = estabilidad de agregados en húmedo; CC = humedad del suelo a capacidad de campo; PMP = humedad del suelo a punto de marchitez permanente; HA = humedad aprovechable; pH = potencial de hidrógeno; N = contenido de nitrógeno; P = contenido de fósforo; K = contenido de potasio; MO = contenido de materia orgánica; CIC = capacidad de intercambio catiónico; DR = distribución de raíces; R = rendimiento de trigo ciclo Otoño-Invierno 1999/2000.

§ Medias con igual letra sobre la misma columna no son significativamente diferentes con $\alpha = 5\%$ de acuerdo con la prueba de medias de Tukey.

contenido de humedad debido al mayor contenido de materia orgánica y a la reconfiguración del espacio poroso; sin embargo, el mayor contenido de humedad en labranza cero está estrechamente relacionado a la presencia del mantillo en la superficie (Brady, 1984; Unger, 1990; Logan *et al.*, 1991; Kovar *et al.*, 1992; Lal *et al.*, 1994), el cual no se cuantificó. Estos resultados indicaron que no necesariamente existe una correlación positiva entre la estructura medida mediante la estabilidad de agregados en seco y la retención de humedad.

Características Químicas del Suelo

Respecto al pH, se observó que los valores de los sistemas de labranza cero fueron menores en comparación con LCON en la capa superficial y mostraron una disminución con la profundidad del suelo. Los sistemas de labranza cero mostraron valores próximos entre sí, por lo que no se observó que L011 tuviera condiciones significativamente más ácidas. Las diferencias entre los sistemas de labranza convencional y labranza cero concordaron con lo reportado por Mahler y Harder (1984), Blevins y Frye (1993), Rhoton *et al.* (1993), y Bowman y Halvorson (1998), quienes explicaron que la acidificación del suelo en la capa superficial se atribuye a la aplicación superficial de los fertilizantes y, en menor grado, a la deposición superficial de los residuos de cosecha.

Con relación al contenido de nitrógeno (N), se observó que el contenido de N total en la capa superficial fue mayor en los sistemas de labranza cero; esto coincide con lo reportado por Blevins y Frye (1993), Rhoton *et al.* (1993), Lal *et al.* (1994), y Bowman y Halvorson (1998), quienes lo atribuyeron principalmente al depósito superficial de residuos de cosechas.

También se observó un mayor contenido de fósforo (P) para los sistemas de conservación en la capa superficial, debido a su poca movilidad y a que las aplicaciones de fertilizantes y la deposición de residuos son superficiales, lo que coincide con lo reportado por Logan *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), Blevins y Frye (1993), y Lal *et al.* (1994).

El contenido de potasio (K) mostró valores altos, lo que se atribuyó a la naturaleza misma de los suelos y mostró cierta estratificación en L001 y L011, lo que señalaron Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992).

El contenido de materia orgánica (MO) fue superior en las parcelas de labranza cero, apreciándose una estratificación también reportada por Barreto, (1989), Logan *et al.* (1991), Figueroa-Sandoval y Morales-Flores (1992), y Blevins y Frye (1993), quienes la atribuyeron a la no incorporación de los residuos de las cosechas en el suelo y a la mayor proliferación de raíces en las capas superficiales.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) no tuvo la estratificación esperada y los valores más altos se presentaron en LCON. Rhoton *et al.* (1993) y Lal *et al.* (1994) señalaron que los cambios esperados en la CIC son más notorios cuando se trabaja con suelos muy pobres en materia orgánica y en los que el contenido de arcilla es mínimo.

Variabilidad Espacial

Los resultados del análisis de la variabilidad para HG, HV, Da y RP mostraron que los variogramas obtenidos no tuvieron estructura de la variabilidad espacial (datos muy dispersos) en las parcelas (LCON y L011), en las direcciones muestreadas y, en el caso de la resistencia a la penetración, a ninguna profundidad. Los variogramas tampoco presentaron consistencia en el efecto nugget, que señala la ocurrencia de varianza natural sin influencia del espaciamiento entre la toma de muestras, lo que indicó la independencia espacial de las variables. Los datos obtenidos verificaron que los valores de resistencia a la penetración y la densidad aparente son mayores en labranza cero (Cuadro 2). En esta variable se observó que los valores tuvieron un comportamiento similar a los obtenidos en Dac, pero con diferencias grandes en LCON. Ehlers *et al.* (1983), Bengough (1991) y Campbell y O'Sullivan (1991) han señalado valores límites para el crecimiento radical de 4.9 MPa, para sistemas de labranza cero, y 3.6 MPa, para sistemas convencionales.

Características Biológicas

La distribución del peso seco de raíces (DR) muestra que en los sistemas de labranza cero hubo una mayor proliferación de raíces en la capa superficial, lo cual coincide con lo reportado por Ehlers *et al.* (1980), Unger (1990), Blevins y Frye (1993) y Carter (1994), quienes atribuyeron este efecto a la estratificación de algunos nutrientes y de la materia

Cuadro 2. Parámetros de la variabilidad de algunas características del suelo en dos sistemas de labranza en el valle de Santiago, Guanajuato, 40 días después de la siembra de trigo.

Parámetro	Medias		Desviación estándar		C.V.	
	LCON [†]	L011 [‡]	LCON	L011	LCON	L011
HV (%)	32.8	38.1	4.9	10	15%	26%
HG (%)	60.6	37.0	3.8	3	6%	8%
Dap (Mg m ⁻³)	0.54	1.03	0.08	0.25	14%	24%
RP 0 a 10 (kPa)	289	736	79	235	27%	32%
RP 10 a 20 (kPa)	377	1,050	72	211	19%	20%
RP 20 a 30 (kPa)	486	1,269	113	303	23%	24%

[†]LCON = labranza convencional; [‡]L011 = labranza de conservación para 11 años de labranza cero. HV = humedad volumétrica; HG = humedad gravimétrica; Dap = densidad aparente (Dap = HV/HG); RP = resistencia a la penetración. Los números indican el intervalo de profundidad en cm.

orgánica, así como a las condiciones de humedad más favorables que se logran con el mantillo. La tendencia con el tiempo de menor proliferación de raíces en la capa superficial en los sistemas de labranza cero puede deberse a que hay una mayor ocurrencia de bioporos que permiten una incursión gradual y mayor de las raíces a profundidades mayores (Larson y Osborne, 1982; Ehlers *et al.*, 1983; Lal *et al.*, 1994).

El rendimiento (R) de trigo en labranza cero (Cuadro 1) fue aceptable, considerando el contexto económico; las empresas fueron exitosas al mantener o incrementar sus márgenes de utilidad debido al ahorro en costos, principalmente en las labores de preparación del terreno (Figuroa-Sandoval y Morales-Flores, 1992; FIRA, 1996).

CONCLUSIONES

- Los suelos sometidos a sistemas de labranza cero presentaron características diferentes a las encontradas en labranza convencional, principalmente de tipo químico; existiendo una mayor fertilidad en los sistemas de labranza cero en la capa superficial de 0 a 10 cm de profundidad.

- Existieron diferencias significativas entre los sistemas de labranza para las características físicas: densidad aparente, contenido de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente; en labranza convencional se observaron los valores más altos.

- Existieron diferencias significativas en todas las características químicas, excepto para el contenido de potasio, y se presentaron los valores más altos en labranza cero.

- En los sistemas de labranza cero, en particular el de 11 años de labranza cero, se observó la estratificación de características químicas, como: pH, contenido de

nitrógeno, contenido de fósforo y contenido de materia orgánica; además, se observaron diferencias relacionadas con la antigüedad en el sistema de labranza cero para las características: pH, contenido de nitrógeno, materia orgánica y densidad aparente, en la capa de 0 a 10 cm de profundidad.

- Se observó que aquellas características que sufrieron detrimento en labranza cero, como la porosidad y la retención de humedad, no afectaron demasiado el desarrollo de los cultivos, ya que el rendimiento fue cercano al obtenido en labranza convencional.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Santelises, A. 1988. Métodos de análisis de suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo/Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Alegre, J.C., D.K. Cassel y E. Amezcuita. 1991. Tillage systems and soil properties in Latin America. *Soil Tillage Res.* 20: 147-163
- Ball, B.C. y K.A. Smith. 1991. Gas movement. pp. 511-549. *In:* Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). *Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Barreto, H.J. 1989. Cambios en propiedades químicas, patrones de fertilización y enclavamiento en suelos bajo labranza cero. pp. 43-70. *In:* Barreto, H.J. (ed.). *Labranza de conservación en maíz.* Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo. El Batán, México.
- Bathke, G.R., D.K. Cassel, W.L. Hargrove y P.M. Porter. 1992. Modification of soil physical properties and root growth response. *Soil Sci.* 154: 316-329.
- Bengough, A.G. 1991. The penetrometer in relation to mechanical resistance to root growth. pp. 431-445. *In:* Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). *Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Black, C.H. 1968. *Soil-plant relationships.* 2nd ed. John Wiley. New York.
- Blake, G.R. y K.H. Hartge. 1986a. Bulk density. pp. 363-375. *In:* Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods.* Agronomy 9. 2nd ed. American

- Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Blake, G.R. y K.H. Hartge. 1986b. Particle density. pp. 377-382. *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Blevins, R.L. y W.W. Frye. 1993. Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Adv. Agron.* 51: 33-78.
- Böhm, W. 1979. *Methods of studying root systems.* Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, Germany.
- Bowman, R.A. y A.D. Halvorson. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. *Soil Sci.* 163: 241-247.
- Brady, N.C. 1984. *The nature and properties of soils.* 9th ed. MacMillan. New York.
- Campbell, D.J. y J.K. Henshall. 1991. Bulk density. pp. 329-366. *In: Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Campbell, D.J. y M.F. O'Sullivan. 1991. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. pp. 399-429. *In: Smith, K.A. y C.E. Mullins (eds.). Soil analysis. Physical methods.* Marcel Dekker. New York.
- Carter, M.R. 1994. A review of conservation tillage for humid temperate regions. *Soil Tillage Res.* 31: 289-301.
- Cunha-Medeiros, J., R. Espejo-Serrano, J.L. Hernanz-Martos y V. Sánchez-Girón. 1996. Effect of various soil tillage systems on structure development in a Haploxeralf of Central Spain. *Soil Tech.* 11: 197-204.
- Dao, T.H. 1996. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. *Agron. J.* 88: 141-148.
- Ehlers, W., B.K. Khosla, U. Köpke, R. Stülpnagel, W. Böhm y K. Baeumer. 1980. Tillage effects on root development, water uptake and growth of oats. *Soil Tillage Res.* 1: 19-34.
- Ehlers, W., U. Köpke, F. Hesse y W. Böhm. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.* 3: 261-275.
- FAO-UNESCO. 1988. *Soil map of the world.* Roma, Italy.
- Figueroa-Sandoval, B. y F.J. Morales-Flores. 1992. *Manual de producción de cultivos con labranza de conservación.* Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Postgraduados-Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. Salinas, San Luis Potosí, México.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1996. *Labranza de conservación para una agricultura sustentable. Experiencias y logros de FIRA.* Boletín Informativo 281. Banco de México-FIRA. Morelia, Michoacán, México.
- Franzen, H., R. Lal y W. Ehlers. 1994. Tillage and mulching effects on physical properties of a tropical Alfisol. *Soil Tillage Res.* 28: 329-346.
- Hermawan, B. y K.C. Cameron. 1993. Structural changes in a silt loam under long-term conventional or minimum tillage. *Soil Tillage Res.* 26: 139-150.
- Hussain, I., K.R. Olson y J.C. Siemens. 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.* 163: 970-981.
- Kemper, B. y R. Derpsch. 1981. Results of studies made in 1978 and 1979 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Res.* 1: 253-267.
- Kemper, W.D. y R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Klute, A. (ed.). 1986. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Kovar, J.L., S.A. Barber, E.J. Kladvik y D.R. Griffith. 1992. Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. *Soil Tillage Res.* 24: 11-27.
- Lal, R. 1989. Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Adv. Agron.* 42: 85-197.
- Lal, R., T.J. Logan, D.J. Eckert, W.A. Dick y M.J. Shipitalo. 1994. Conservation tillage in the Corn Belt of the United States. pp. 73-114. *In: Carter, M.R. (ed.). Conservation tillage in temperate agroecosystems.* Lewis Publishers/C.R.C. Press. Boca Raton, FL.
- Langdale, G.W., L.T. West, R.R. Bruce, W.P. Miller y A.W. Thomas. 1992. Restoration of eroded soil with conservation tillage. *Soil Tech.* 5: 81-90.
- Larson, W.E. y G.J. Osborne. 1982. Tillage accomplishment and potential. pp. 1-11. *In: Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Special Publication 44. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Logan, T.J., R. Lal y W.A. Dick. 1991. Tillage systems and soil properties in North America. *Soil Tillage Res.* 20: 241-270.
- Logsdon, S.D. y D.R. Linden. 1992. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. *Soil Sci.* 154: 330-337.
- Mahler, R.L. y R.W. Harder. 1984. The influence of tillage methods, cropping sequence, and N rates on the acidification of a northern Idaho soil. *Soil Sci.* 137: 52-60.
- Marshall, T.J. y J.W. Holmes. 1979. *Soil physics.* Cambridge University Press. Cambridge, MA.
- Maurya, P.R. 1986. Effect of tillage and residue management on maize and wheat yield and on physical properties of an irrigated sandy loam soil in Northern Nigeria. *Soil Tillage Res.* 8: 161-170.
- McBratney, A.B. y R. Webster. 1986. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *J. Soil Sci.* 37: 617-639.
- Mielke, L.N., J.W. Doran y K.A. Richards. 1986. Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Tillage Res.* 7: 355-366.
- Oliver, M.A. y R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. *Soil Use Manage.* 7: 206-217.
- Olsen, S.R. y L.E. Sommers. 1982. Phosphorus. pp. 403-430. *In: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.*
- Ordaz-Chaparra, V.M. 1995. *Impacto de la cultura intensiva des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du Mexique (Etat de Tabasco). Série Sols 20.* Institut National Agronomique. Paris-Grignon, France.

- Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Phillips, R.E., R.L. Blevins, G.W. Thomas, W.W. Frye y S.H. Phillips. 1980. No-tillage in agriculture. *Science* 208: 1108-1113.
- Rhoton, F.E., R.R. Bruce, N.W. Buehring, G.B. Elkins, G.W. Langdale y D.D. Tyler. 1993. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil Tillage Res.* 28: 51-61.
- Roth, C.H., B. Meyer, H.G. Frede y R. Derpsch. 1988. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. *Soil Tillage Res.* 11: 81-91.
- Russell, R.S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with soil. McGraw Hill. London, UK.
- SAS Institute, Inc. 1999. SAS Software. Versión 8. Cary, NC.
- Schnitzer, M. 1982. Organic matter characterization. pp. 581-594. *In:* Page, A.L. R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Agronomy 9. 2nd ed. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Sembiring, H., W.R. Raun, G.V. Johnson y R.K. Boman. 1995. Effect of wheat straw inversion on soil and water conservation. *Soil Sci.* 159: 81-89.
- Soane, B.D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil Tillage Res.* 16: 179-201.
- Tan, K.H. 1996. Soil sampling, preparation, and analysis. Marcel Dekker. New York.
- Unger, P.W. 1990. Conservation tillage systems. *Adv. Soil Sci.* 13: 27-68.
- Wilson, G.F., R. Lal y B.N. Okigbo. 1982. Effects of cover crops on soil structure and on yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil Tillage Res.* 2: 233-250.