

EFECTO DE LA LABRANZA DE CONSERVACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Conservation Tillage Effects on Soil Properties

Moisés Alonso Báez^{1‡} y Juan Francisco Aguirre Medina¹

RESUMEN

Se realizó un experimento en tres sitios de la región del Soconusco, Chiapas, México: Tapachula (TAP), Tuxtla Chico (TCH) y Frontera Hidalgo (FRA); cuyo objetivo fue evaluar el impacto de la labranza de conservación (cero labranza, CL, y labranza mínima, LM), más labranza convencional (LC) sobre el contenido de la materia orgánica (MO), densidad aparente (ρ_b) y conductividad hidráulica a saturación (Ks) en dos ciclos sucesivos de producción de maíz: temporal y humedad residual. Los experimentos consistieron de tres tratamientos de 0.5 ha: CL, LM y LC; la primera y segunda fecha de siembra en cada sitio (TAP, TCH y FRA) se hicieron los días 10, 20 y 28 de mayo; 20, 25 y 30 de agosto de 2007, respectivamente. En cada tratamiento se determinó la MO inicial (abril, 2007) cada 10 cm hasta 40 cm de profundidad y después cada seis meses (noviembre, 2007 y abril, 2008); la ρ_b y Ks se determinaron sólo al inicio y un año después. En el corto plazo, los análisis estadísticos de impacto de los sistemas de labranza por profundidad sobre la MO detectaron diferencia significativa en los sitios TAP y FRA, y altamente significativa en la profundidad, ya que en todos los sitios se determinó mayor concentración de MO en el estrato de 0 a 20 cm (Tukey, 5%). En relación con las variables ρ_b y Ks no se detectó diferencia estadística significativa.

Palabras clave: labranza cero, labranza mínima, labranza convencional, región soconusco.

SUMMARY

An experiment was conducted at three locations in the Soconusco, Chiapas, Mexico: Tapachula (TAP),

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa. Km 18 carretera Tapachula-Cacahoatan. Tuxtla Chico, Chiapas, México.

[‡] Autor responsable (moises@inifap.gob.mx)

Tuxtla Chico (TCH) and Frontera Hidalgo (FRA), which objective was to assess the impact of conservation tillage (no tillage, NT, and minimum tillage, MT), and conventional tillage (CT) on the content of organic matter (OM), bulk density (ρ_b) and saturated hydraulic conductivity (Ks) in two successive production cycles of corn: rainfed and residual moisture. The experiment consisted of three treatments of 0.5 ha each: NT, MT, and CT. Planting date at each site (TAP, TCH, and FRA) were May 10, 20 and 28 for rainfed and, August 20, 25 and 30 for year 2007 for residual moisture. Within each treatment, OM was determined every 10 cm until 40 cm deep at the beginning of the experiment (April 2007) and then every six months (November, 2007 and April 2008); the ρ_b and Ks were determined only at the beginning and a year later. In the short term, the statistical analysis of the impact of tillage systems and depth over OM had significant differences in sites TAP and FRA, and highly significant in depth, as in all sites higher concentration of OM in the 0 to 20 cm was determined (Tukey, 0.05). For ρ_b and Ks statistically significant difference was not detected.

Index words: no tillage, minimum tillage, conventional tillage, soconusco region.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de labranza ejercen efectos diferenciales en el rendimiento de los cultivos y en las características físicas, químicas e hidráulicas de los suelos. Existen evidencias que la labranza convencional (LC) en la agricultura moderna mediante el uso intensivo del arado y la rastra, modifica la estructura de la capa superficial del suelo, la continuidad del espacio poroso y reduce el contenido de materia orgánica (MO) (Paustian *et al.*, 1997). Durante la inversión del suelo con el arado, los residuos de cosecha se mezclan y se exponen a los ciclos acelerados de aireación, humedecimiento, secado y enfriamiento que, sumados favorecen la descomposición de la MO. La materia orgánica presenta distribución variable en el suelo

y guarda estrecha relación con la porosidad y la humedad; ambos componentes influyen directamente en la recuperación de la estructura y estabilidad cuando los suelos se exponen a diferentes tipos de manejo (Kay y Vanden Bygaart, 2002; Urbanek y Horn, 2006). La porosidad total y su continuidad en la matriz del suelo influyen directamente sobre la conductividad hidráulica y los procesos de intercambio de agua y aire.

El uso intensivo de la labranza (Reicosky, 2003) contribuye severamente con la emisión de carbono (C) almacenado en el suelo que, al exponerlo a la intemperie se oxida y como bióxido de carbono (CO₂) forma parte de los gases tipo invernadero causantes del calentamiento global del planeta. La práctica intensiva de la labranza rompe los agregados estructurales y expone la MO inmersa en su interior (Paustian *et al.*, 1997; Reicosky, 2003); proceso físico que acelera su mineralización (Van Veen y Kuikman, 1990). En general, la MO se encuentra en estado libre accesible para la microbiota de la rizosfera y también, retenida dentro de los agregados estructurales del suelo (Golchin *et al.*, 1994).

Actualmente se promueve la utilización de tecnologías de producción que garanticen la reducción de emisiones de C mediante su secuestro *in situ* como la labranza de conservación (Lal, 2004; Franzluebbers y Arshad, 1996); que contribuye a mejorar la estructura del suelo, incrementa su fertilidad y conservan su humedad. La labranza de conservación, considera la permanencia en la superficie del suelo de al menos 30% de los residuos de la cosecha hasta la próxima siembra para conservar el suelo y el agua (Paustian *et al.*, 2000; Follet, 2001; Lal, 2003). Últimamente, la labranza de conservación principalmente labranza cero (LC) y labranza mínima (LM), han demostrado alta eficiencia para secuestrar C y sucesivamente la recuperación continua de la MO (Lal *et al.*, 2003).

El nivel de impacto de la labranza de conservación es función del manejo agrícola del suelo, tipo de cultivo y el clima (Paustian *et al.*, 1997); por ejemplo, con cero labranza se evita la mezcla de materiales al interior del suelo, conserva sus agregados estructurales y permite la acumulación continua de su MO (Six *et al.*, 1999; Six *et al.*, 2000a). En relación con el clima, la disminución de la MO en las regiones tropicales y subtropicales está estrechamente relacionada con la degradación del suelo y del ambiente bajo el sistema de labranza convencional (Bayer *et al.*, 2000b); pero, también en los trópicos el clima cálido y húmedo favorecen mayor actividad

biológica que acelera la degradación de la MO en estos suelos, lo que explica la importancia de ésta como factor determinante para mantener la sustentabilidad de los sistemas agrícolas tropicales (Machado *et al.*, 2003).

En relación con lo anterior, se desarrolló la presente investigación para evaluar en el corto plazo (mayo 2007-mayo 2008) el comportamiento de la MO, densidad aparente del suelo (ρ_b), conductividad hidráulica a saturación (Ks) y rendimiento de grano mediante dos métodos de labranza de conservación (CL y LM) más labranza convencional (LC) en dos sistemas de producción de maíz: condiciones de temporal (mayo-septiembre) y humedad residual (septiembre-enero), respectivamente; en dos cuencas productoras de maíz de El Soconusco, Chiapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sitio

Se estableció un experimento en tres localidades productoras de maíz en condiciones de temporal y humedad residual (Tapachula, Tuxtla Chico y Frontera Hidalgo) de El Soconusco, región subtropical Pacífico Sur del Estado de Chiapas, México; ubicado geográficamente entre los paralelos 14° 20' y 14° 55" N y 92° 15' y 92° 45" O; zona limítrofe con Guatemala. La precipitación histórica promedio anual en cada localidad es de 1850 mm (TAP), 1350 mm (TCH) y 1300 mm (FRA), distribuida de mayo a octubre. La temperatura promedio anual es de 27 ± 1 °C. Los suelos de cada sitio con base en su textura son: franco arenoso (TAP), franco arcilloso (TCH) y franco limoso (FRA); pH inicial fue de: 5.8 (TAP), 5.5 (TCH) y 5.9 (FRA), respectivamente.

Diseño Experimental y Características de los Sitios

El área del experimento fue de 1.5 ha y consistió de tres tratamientos de 0.5 ha cada uno (50 m × 100 m), así los tratamientos se distribuyeron mediante el diseño de franjas apareadas que, geográficamente de norte a sur se ubicó primero: el tratamiento de labranza cero (CL; solo siembra mecanizada), labranza mínima (LM; mediante un solo paso de rastra y siembra mecanizada), y labranza convencional (LC; mediante barbecho, dos pasos de rastra y siembra mecanizada). La siembra de maíz en los tres sitios experimentales se realizó con una misma variedad (DK-353). Las dosis de fertilización, con base en el análisis químico del suelo, se estimaron

mediante el método racional únicamente para macro elementos; de esta manera cada dosis es el cociente de la diferencia: demanda nutrimental extraída por la cosecha menos el aporte del suelo, entre la eficiencia de absorción de los nutrimentos: 0.65, 0.25 y 0.80 para N, P y K, respectivamente; las dosis fueron variables entre sitios: 80, 80 y 90 kg ha⁻¹ de N; 20, 60 y 35 kg ha⁻¹ de P; 30, 35 y 50 kg ha⁻¹ de K; en los sitios TAP, TCH y FRA (Cuadro 1). Las fechas de siembra en condiciones de temporal se hicieron durante los días 10, 20 y 28 de mayo de 2007; y en humedad residual los días 20, 25 y 30 de agosto de 2007 en los sitios de Tapachula, Tuxtla Chico y Frontera Hidalgo, respectivamente. La cosecha de maíz en cada uno de los sitios experimentales fue variable y se realizó durante la segunda quincena de octubre de 2007 y primera quincena de enero de 2008 para uno y otro sistema, respectivamente.

Análisis Químico del Suelo

Materia orgánica (MO). En la etapa pre-experimental (abril, 2007) al interior de cada tratamiento se seleccionaron tres estaciones de muestreo y en cada una de éstas se tomaron cuatro muestras simples de suelo en las profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 y 30 a 40 cm; a fin de conocer el contenido inicial de MO. Posteriormente, las muestras se tomaron cada seis meses (noviembre de 2007 y abril de 2008) para evaluar su comportamiento durante este periodo. Las muestras de suelo se les determinó la MO mediante el C orgánico por el método de Walkley y Black (1934).

Análisis Físico e Hidráulico del Suelo

Densidad aparente del suelo. Durante la etapa pre-experimental (abril, 2007) en cada uno de los sitios experimentales se determinó la densidad aparente mediante el método del cilindro de volumen conocido, al interior de cada tratamiento se seleccionaron tres sitios

de muestreo, en cada uno de éstos se extrajeron dos muestras individuales de suelo con el cilindro mencionado, el cual se insertó en el suelo y se extrajo cuidadosamente un monolito de suelo de cada una de las profundidades (10 a 20 y 20 a 40 cm); cada uno de las muestras se vació en un recipiente de aluminio y se llevaron al laboratorio, ahí se secaron en la estufa por 24 h a 110 °C; se sacaron y se pusieron en un desecador, después se pesaron para obtener la masa de suelo seco; ésta se dividió entre el volumen conocido (32 cm³) y se obtuvo la densidad aparente (pb, g cm⁻³) del suelo.

Conductividad hidráulica a saturación. Durante el ciclo experimental (mayo 2007-abril 2008) en cada uno de los sitios experimentales, al interior de cada tratamiento se seleccionaron tres estaciones de muestreo y en cada una de éstas se instaló un juego de cilindros infiltrómetros y se midió por un tiempo de 10 h continuas la infiltración de agua en el suelo. Posteriormente cada una de las series de valores de la infiltración en función del tiempo [I (t); cm h⁻¹] se ajustaron por la ecuación de Phillip (1957) de tres términos, y a partir de sus coeficientes de ajuste se estimaron cada uno de los valores de conductividad hidráulica a saturación (Ks; cm h⁻¹) con la función de Kutilek *et al.* (1988).

Análisis Estadístico

Los valores promedio de MO por tratamiento y cuatro profundidades (CL × PFi, LM × PFi y LC × PFi; i = 10, 20, 30 y 40 cm de profundidad) de los tres sitios, se pusieron en una matriz de tratamientos de sistemas de labranza (parcela grande) y dentro de cada uno de éstos se anidaron cuatro profundidades por tratamiento (parcela chica), donde las repeticiones (tres) fueron las fecha de su cuantificación (abril, 2007; noviembre, 2007 y abril, 2008) y mediante esta estructura se aplicó el análisis de varianza con base en el diseño experimental de parcelas divididas (DPD). Para precisar en esta respuesta, también se utilizó la misma estructura de

Cuadro 1. Concentración de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) de los sitios experimentales y demanda de estos nutrimentos para un rendimiento de maíz de 7500 kg ha⁻¹.

Sitio	Profundidad cm	Aporte del suelo			Demanda de nutrimentos		
		N %	P mg kg ⁻¹	K mg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹		
Tapachula	0-20	0.084	20	90			
Tuxtla Chico	0-20	0.14	22	35	111	59	39
Frontera Hidalgo	0-20	0.13	11	50			

valores promedio de MO (tres fechas de su cuantificación) con el mismo arreglo de sistemas de labranza por profundidad, donde las repeticiones fueron los tres sitios experimentales y se aplicó el análisis de varianza mediante el diseño experimental de parcelas divididas. Con relación a la densidad aparente, debido a que sólo se tuvieron dos valores promedio (de tres valores) por sistema de labranza en dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) correspondientes a uno y otro año de observación (2007 y 2008), dichos valores se analizaron mediante una prueba de t ($P < 0.05$); asimismo, la Ks sobre la base de valores promedio (de tres valores) por tratamiento en cada sitio experimental, también se analizó mediante una prueba de t ($P < 0.05$); por último el rendimiento acumulado de los ciclos de producción mencionados por cada uno de los sitios experimentales. Los valores de rendimiento se integraron en una matriz de cinco muestras independientes (repeticiones) obtenidas al interior de cada tratamiento (tres) y de esta forma se conformó una arreglo tres tratamientos de sistemas de labranza por cinco repeticiones, de esta forma se realizó el análisis de varianza mediante el diseño de bloques completos al azar. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de la Materia Orgánica

En relación con el impacto de los sistemas de labranza de conservación (CL y LM) en el corto plazo para retener e incrementar la MO en comparación con la LC, en el Cuadro 2 se presentan los resultados reportados por el análisis de varianza correspondiente.

Los resultados de este análisis sólo detectaron diferencia significativa de impacto de los sistemas de

labranza sobre la escasa variabilidad de la MO en un año de observación; no hubo efecto de interacción entre sistemas de labranza por la profundidad (PF), y sólo se detectó diferencia altamente significativa del contenido de MO en la profundidad. Estos resultados desde un punto de vista estadístico (Tukey, $P \leq 0.05$) confirman igual comportamiento de la MO en ambos sistemas de labranza (labranza de conservación y convencional). En relación con estos resultados la literatura especializada reporta una amplia variedad de valores similares cuando se analizó el comportamiento del C en el corto plazo (Omode *et al.*, 2006); sin embargo, aún cuando dichos resultados desde un punto de vista de sus valores promedio absolutos no mostraron en el corto plazo un incremento sustantivo, los beneficios que proporciona la MO, principalmente en la región tropical, contribuye en la conservación el suelo en su lugar de origen; asimismo dada la mayor estabilidad del suelo debido a su MO fortalece la ley de resistencia al flujo libre del agua sobre la superficie y otros atributos que se le otorgan a la MO dentro de los ecosistemas de producción agrícola en general.

El comportamiento de la MO en la profundidad, con excepción del sitio de Tuxtla Chico, en el resto de los sitios experimentales se observó una acumulación importante de MO en la profundidad de 0-10 cm y a partir de aquí hasta la profundidad de 40 cm su comportamiento fue variable; así la tendencia observada fue hacia su disminución con la profundidad, esta relación se explica mediante la Ecuación 1.

$$MO = 4.544 - 0.26 PF \quad (1)$$

$$r^2 = 0.98$$

Donde PF es profundidad (cm). Al respecto, Omode *et al.* (2006) reportaron resultados similares cuando analizó el impacto de sistemas de labranza en el corto plazo sobre la acumulación de C y N en el perfil del

Cuadro 2. Impacto de los sistemas de labranza de conservación y convencional por profundidad sobre el comportamiento promedio de la materia orgánica en función del tiempo (fechas de su cuantificación: abril, 2007; noviembre, 2007 y abril, 2008).

Sitio	Sistema de labranza			Profundidad			
	Labranza mínima	Cero labranza	Labranza convencional	0-10	10-20	20-30	30-40
	----- cm -----						
Tapachula	5.08 [†] a	5.24 a	4.59 a	5.53 [‡] a	5.09 b	4.70 b c	4.57 c
Tuxtla Chico	3.19 a	3.89 a	3.70 a	3.70 a	3.63 a	3.58 a	3.46 a
Frontera Hidalgo	2.89 a	2.90 a	2.80 a	3.55 a	2.96 b	2.55 c	2.41 c

[†] Valor promedio agrupado por Tukey ($P \leq 0.05$); sistemas de labranza por sitios a través de fechas de observación. [‡] en dirección horizontal se observan los promedios agrupados por Tukey ($P \leq 0.05$).

suelo, y determinó que dichos sistemas alteraron el contenido y distribución de C y N a través de todo perfil analizado, pero, en el corto plazo la práctica continua de CL en la profundidad de 0-5 cm, la acumulación de C y N superó a los sistemas de cero labranza temporal, tales como el rayado del suelo con arado de cincel e inversión del suelo con arado por varios órdenes de magnitud que fueron desde 11%, 15 y 28%, respectivamente (Rasse *et al.*, 2006).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la concentración promedio de la MO por sistemas de labranza (LM, CL y LC) por profundidad a través de los sitios. Al respecto, el análisis de varianza no detectó diferencia estadística significativa e indica que en el corto plazo a través de los sitios, no ocurrieron cambios en la concentración de MO. No hubo diferencia estadística significativa de interacción entre sistemas de labranza y profundidad, y sí hubo diferencia estadística altamente significativa de concentración MO en la profundidad, donde se observó desde un punto de vista estadístico, acumulación importante de MO en el estrato de 0-10 cm de profundidad durante el periodo en que ésta fue cuantificada.

Resultados similares en relación con esta investigación muestran que en el corto plazo (< 10 años) el efecto de la labranza sobre la dinámica del C es variable y compleja (Al-Kaisi *et al.*, 2005); sin embargo, los resultados indican que después de tres años consecutivos con cero labranza más la permanencia de los residuos de cosecha, se incrementó la concentración de C orgánico en los estratos de 0-5 cm y de 5-10 cm de profundidad con relación a la práctica del rayado profundo del suelo para la siembra de maíz; es probable que dicha acumulación de C no se debió a los residuos de cosecha, sino a la disminución de las tasas de mineralización con cero labranza. La práctica continua de cero labranza más el manejo de cultivos que proporcionen altas cantidades de residuos de cosecha y su permanencia *in situ* como el maíz, promueve la recuperación sucesiva de la MO, su fertilidad natural y protege el ambiente mediante la reducción sustantiva de emisiones de CO₂ (Bayer *et al.*, 2000; Machado *et al.*, 2003).

Otros estudios relacionados con esta investigación reportan que se conoce muy poco acerca de la acumulación sustantiva de MO en el corto plazo a partir de que se inicia la reconversión de la labranza convencional por labranza de conservación, en particular cero labranza (Vanden Bygaart y Kay, 2004);

Cuadro 3. Concentración promedio de la materia orgánica (MO) en el corto plazo (2007-2008) en función del tipo de labranza y profundidad a través de los sitios de observación: Tapachula, Tuxtla Chico y Frontera Hidalgo.

Sistema de labranza	MO	Profundidad	Promedio
	%	cm	%
Labranza mínima	3.72 a [†]	0-10	4.26 a
Cero labranza	4.01 a	10-20	3.89 b
Labranza convencional	3.70 a	20-30	3.61 bc
		30-40	3.48 c
Media	3.803		
CV (%)	6.21		

[†] Tukey, $P \leq 0.05$.

sin embargo, su manejo continuo por periodos cortos (6 y 7 años) reporta alta acumulación de C en el suelo en relación con la labranza convencional (Wander *et al.*, 1998; Duiker y Lal, 1999; McConkey *et al.*, 2003). También Franzluebbbers y Arshad (1996) en el mismo ámbito de estudio determinaron que en un periodo comprendido entre 2 y 5 años después de realizar esta reconversión, el tiempo fue muy corto y no se observó un incremento sustantivo de C en el suelo; pero, después de 5 hasta 10 años se ha observado alta concentración de C orgánico total. Con relación a lo anterior, Duiker y Lal (1999) en un estudio similar después de siete años de la reconversión, determinaron una relación lineal positiva entre el C orgánico total y la incorporación consecutiva de los residuos de cosecha.

Efectos de la Labranza de Conservación sobre la Densidad Aparente del Suelo

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de impacto en el corto plazo (2007-2008) de los sistemas de labranza (labranza de conservación y convencional) por profundidad sobre el comportamiento de la densidad aparente del suelo (ρ_b , g cm⁻³) por sitios, correspondiente a uno y otro año de observación. Con base en los análisis estadísticos (t ; $P \leq 0.05$) las diferencias significativas fueron variables: sólo significativas para los estratos 20-40 cm y 0-20 cm con LC en TCH y TAP; en el sitio de FRA hubo diferencia significativa en ambos estratos con CL y el mismo efecto para los estratos 0-20 cm y 20-40 cm en LM y LC, respectivamente.

La inconsistencia del efecto de sistemas de labranza en el corto plazo sobre la densidad aparente del suelo ya ha sido reportada ampliamente en la literatura.

Wander *et al.* (1998) reportó valores mayores de densidad aparente bajo cero labranza sobre la labranza convencional; Díaz-Zorita *et al.* (2004) no encontró diferencia significativa de su comportamiento entre los sistemas cero labranza y labranza convencional. Yang y Kay (2001) en un estudio similar no encontró diferencias entre la labranza reducida, rayado profundo (cincelado) e inversión del suelo y, dicha variación fue muy ligera entre tratamientos. Yoo y Wander (2006) determinaron que con labranza cero la densidad aparente se incrementó en todos los suelos de tipo franco-limosos y arcillo-limosos.

Últimamente Lampurlanéz y Cantero-Martínez (2003) mediante una amplia revisión de literatura acerca del impacto de los sistemas de labranza sobre la densidad aparente del suelo reportan diferentes resultados: incremento de este valor en los primeros 5 cm y 10 cm de profundidad con cero labranza sobre la labranza convencional (Radcliffe *et al.*, 1988; Hammel, 1989; Hill, 1990; Grant y Lafond, 1993); otros resultados no reportan diferencias bajo ningún sistema de labranza utilizados (Blevins *et al.*, 1983; Taboada *et al.*, 1998; Arshad *et al.*, 1999; Logsdon y Cambardella, 2000) y otro grupo reportó que la densidad aparente disminuyó bajo cero labranza, debido a un incremento progresivo de la MO en la primera capa de suelo (Crovetto, 1998).

Efecto de la Labranza de Conservación sobre la Conductividad Hidráulica a Saturación

En el Cuadro 5 se presentan los resultados del comportamiento de la conductividad hidráulica a saturación (Ks), proceso ocurrido en el corto plazo en los sitios mencionados. Con base en el análisis

estadístico [Prueba de t ($P \leq 0.05$)] se obtuvieron diferentes resultados: en CL sólo hubo diferencia significativa en los sitios de Frontera Hidalgo y Tuxtla Chico; no hubo diferencia estadística en ninguno de sitios bajo labranza mínima y sí se detectó diferencia estadística en el sistema de labranza convencional de un año y otro en los sitios de Frontera Hidalgo y Tapachula.

En relación con esta variable, muchos estudios reportan resultados similares en diferentes sistemas de labranza. Buczko *et al.* (2006) observó valores más altos de Ks en labranza de conservación sobre la labranza convencional; asimismo Longsdon *et al.* (1993) determinó en un suelo de textura franca cultivado con maíz que la tasa de infiltración en labranza de conservación fue superior comparada con la labranza convencional.

En relación con estos resultados, investigaciones realizadas en suelos similares o de textura franco limoso y arcilloso cultivados con maíz mostraron valores más altos de Ks en labranza de conservación sobre labranza convencional (Cameira *et al.*, 2003). Así también, otros estudios sobre el comportamiento de Ks en el corto plazo, detectaron poca variación en diferentes sistemas de labranza y lo anterior, lo atribuyen a que esta variable está fuertemente influenciado por la estructura del suelo y la actividad de los micro y macro organismos que forman galerías por donde fluye el agua y así la Ks se incrementa (Buczko *et al.*, 2006). También, la Ks es muy variable y puede mayor, igual o menor en labranza convencional comparado con labranza cero (Gantzer y Blake, 1978; Karlen *et al.*, 1994). La amplia variedad de la Ks bajo los diferentes sistemas de labranza indica que la infiltración y la conductividad hidráulica están directamente relacionados con la estabilidad estructural

Cuadro 4. Concentración de la densidad aparente del suelo (ρ_b ; g cm^{-3}) en dos profundidades después de un año de observación (2007-2008) a través de sitios en función de los sistemas de labranza de conservación y convencional.

Sistemas de labranza	Profundidad	Tuxtla Chico		Frontera Hidalgo		Tapachula	
		2007	2008	2007	2008	2007	2008
	cm	----- g cm ⁻³ -----					
Labranza cero	0-20	1.13	1.11 ns	1.19	1.09 *	0.96	1.02 ns
	20-40	1.11	1.17 ns	1.11	1.01 *	0.82	0.81 ns
Labranza mínima	0-20	1.07	1.08 ns	1.18	1.03 *	0.96	1.12 ns
	20-40	1.13	1.19 ns	1.15	0.95 ns	0.79	0.90 ns
Labranza convencional	0-20	1.09	1.12 ns	1.19	1.18 ns	0.95	1.22*
	20-40	1.07	1.18 *	1.22	1.03 *	0.95	1.07 ns

* Diferencia significativa; ns = no significativa [t ($P < 0.05$)].

Cuadro 5. Impacto de los sistemas de labranza entre sitios sobre el comportamiento de la conductividad hidráulica a saturación (Ks) en un año de observación (2007-2008).

Sistemas de labranza	Frontera Hidalgo		Tuxtla Chico		Tapachula	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008
	----- cm h ⁻¹ -----					
Labranza cero	1.55	2.18 *	2.29	3.69 *	3.26	3.39 ns
Labranza mínima	2.62	1.85 ns	3.64	3.89 ns	3.22	2.92 ns
Labranza convencional	2.2	7.85 *	3.63	2.65 ns	3.23	4.58 *

* Diferencia significativa; ns = no significativa [$t (P \leq 0.05)$].

del suelo y su porosidad; es decir, su diámetro, continuidad, conectividad y densidad aparente (Patel y Singh, 1981; Tisdall y Adem, 1986). Sin embargo, en el largo plazo las prácticas de labranza de conservación fundamentalmente cero labranza, debido a que el suelo no se perturba, su matriz mantiene mayor porosidad y continuidad que permite mayores tasas de infiltración y de su conductividad hidráulica (Azzoz y Arshad, 1996)

Impacto de los Sistemas de Labranza de Conservación sobre el Rendimiento de Maíz

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de impacto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento de grano de maíz. Desde un punto de vista estadístico se determinó que ninguno de los sistemas de labranza influyó significativamente sobre esta variable; pero se observó que la tendencia observada del rendimiento absoluto en todos los sitios es ligeramente superior en condiciones de labranza de conservación sobre labranza convencional.

Estudios similares realizados por tres años consecutivos durante dos ciclos sucesivos de producción de maíz (primavera y otoño) reportan mayor rendimiento con labranza de conservación sobre labranza convencional por dos razones básicas, a saber: mayor rendimiento durante los años en que ocurrió sequía y menores costos de producción todos los años (Smart y Bradford, 1999). En relación con el manejo de los residuos de cosecha, algunos estudios indican que la adición o remoción de éstos sobre el rendimiento de maíz tiene un efecto variable (Blanco-Canqui y Lal, 2008); por ejemplo, en las regiones templadas se determinó que grandes cantidades de residuos sobre el suelo mantienen baja la temperatura para la germinación, menor pH de la superficie y se tuvo mayor incidencia de maleza

y plagas que se mantienen permanentemente debajo de esta cobertura. Por otra parte, un estudio realizado en el corto plazo (1996-1997) mostró que los diferentes sistemas de labranza (convencional, reducida y cero labranza) con dos niveles de residuos de cosecha no afectaron el rendimiento de biomasa y grano de maíz (Mehdi *et al.*, 1999).

CONCLUSIONES

- Con base en los resultados, en el corto plazo los diferentes sistemas de labranza: de conservación y convencional; no tuvieron un efecto temporal y espacial importante sobre la acumulación de materia orgánica en ninguno de los sitios experimentales.
- La materia orgánica en la profundidad observó concentraciones diferentes, pero, dicho comportamiento no puede atribuírsele a los sistemas de labranza, ya que la materia orgánica en la profundidad tiende a un valor mínimo.

Cuadro 6. Impacto de los sistemas de labranza sobre el rendimiento acumulado de maíz en condiciones de temporal y humedad residual por sitios.

Sistema de labranza	Frontera Hidalgo	Tuxtla Chico	Tapachula
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Labranza cero	7525 a	6104 a	5864 a
Labranza mínima	6716 a	5973 a	5861 a
Labranza convencional	6669 a	5055 a	5017 a
Media	6970	5711	5580
CV (%)	8.23	14.1	18.44

Letras iguales, en cada columna, indican diferencias no significativas según Tukey ($P \leq 0.05$).

- Los diferentes sistemas de labranza no afectaron el comportamiento de la densidad aparente del suelo y la respuesta diferencial observada en la profundidad no puede atribuírsele a dichos sistemas. Asimismo, los sistemas de labranza no afectaron el comportamiento de la conductividad hidráulica a saturación, ni el rendimiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con Fondos Mixtos-Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas, FOMIX-COCyTECH, mediante el proyecto "Recuperación de la materia orgánica y disminución de la erosión en el área productora de maíz de temporal, y rotación de cultivos en sucesión de éste mediante labranza de conservación en las cuencas Suchiate y Cahoacan del Soconusco, Chiapas". Clave de proyecto: CHIS-2006-C06-52598.

LITERATURA CITADA

- Al-Kaisi, M., X. Yin, and M. Licht. 2005. Soil carbon and nitrogen changes as influenced by tillage and cropping systems in some Iowa soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 105: 635-647.
- Arshad, M. A., A. J. Franzluebbers, and R. H. Azooz. 1999. Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil Tillage Res.* 53: 41-47.
- Azooz, R. H. and M. A. Arshad. 1996. Soil infiltration and hydraulic conductivity under long-term no-tillage and conventional tillage systems. *Can. J. Soil Sci.* 76: 143-152.
- Bayer, C., J. Mielniczuk, T. J. C. Amado, L. Martin-Neto, and S. V. Fernandes. 2000. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 54: 101-109.
- Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2008. Corn stover removal impacts on micro-scale soil physical properties. *Geoderma* 145: 335-346.
- Blevins, R. L., M. S. Smith, G. W. Thomas, and W. W. Frye. 1983. Influence of conservation tillage on soil properties. *J. Soil Water Conserv.* 38: 301-305.
- Buczko, U. O., O. Bens, and R. F. Huttl. 2006. Tillage effects on hydraulics properties and macroporosity in silty and sandy soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 70: 1998-2007.
- Camerira, M. R., R. M. Fernando, and L. S. Pereira. 2003. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. *Soil Tillage Res.* 70: 131-140.
- Crovetto, C. C. 1998. No-till development in Chequén farm and its influence on some physical, chemical and biological parameters. *J. Soil Water Conserv.* 53: 194-199.
- Díaz-Zorita, M., J. H. Grove, L. Murdock, J. Herbeck, and E. Perfect. 2004. Soil structural disturbance effects on crop yields and soil properties in a no-till production system. *Agron. J.* 96: 1651-1659.
- Duiker, S. W. and R. Lal. 1999. Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a Luvisol in Central Ohio. *Soil Tillage Res.* 52: 73-81.
- Follett, R. F. 2001. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil Tillage Res.* 61: 77-92.
- Franzluebbers, A. and M. Arshad. 1996. Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in Northwestern Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1422-1427.
- Gantzer, C. J. and G. R. Blake. 1978. Physical characteristics of clay loam soil following no-till and conventional tillage. *Agron. J.* 70: 853-857.
- Golchin, A., J. M. Oades, J. O. Skjemstad, and P. Clarke. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C Cp/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Aust. J. Soil Res.* 32: 285-309.
- Grant, C. A. and G. P. Lafond. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 73: 223-232.
- Hammel, J. E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1515-1519.
- Karlen, D. L., N. C. Wollenhaupt, D. C. Erbach, E. C. Berry, J. B. Swan, N. S. Eash, and J. L. Jordahl. 1994. Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Tillage Res.* 32: 313-327.
- Kay, B. D. and A. J. Vanden Bygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Tillage Res.* 66: 107-118.
- Kutilek, M., Kuraz, M., Krejca, M., and Kubik, F. 1988. Field estimation of soil hydraulic characteristics. *Soil Technology* 1: 63-75.
- Lal, R. 2003. Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. *Crit. Rev. Plant Sci.* 22: 151-184.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* 304: 1623-1627.
- Lampurlanes, J. and C. Cantero-Martinez. C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.
- Logsdon, S. D. and C. A. Cambardella. 2000. Temporal changes in small depth-incremental soil bulk density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 710-714.
- Logsdon, S. D., J. L. Jordahl, and D. L. Karlen. 1993. Tillage and crop effects on ponded and tension infiltration rates. *Soil Tillage Res.* 28:179-189.
- Machado, P. L. O. A., S. P. Sohi, and J. L. Gaunt. 2003. Effect of no-tillage on turnover of organic matter in a Rhodic Ferralsol. *Soil Use Manage.* 19: 250-256.
- McConkey, B. G., B. C. Liang, C. A. Campbell, D. Curtin, A. Moulin, S. A. Brandt, and G. P. Lafond. 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil Tillage Res.* 74: 81-90.
- Mehdi, B. B., C. A. Madramootoo, and Guy R. Mehuys. 1999. Yield and nitrogen content of corn under different tillage practices. *Agron. J.* 91: 631-636.
- Omode, R. A., A. Gal, D. E. Stott, T. S. Abney, and T. J. Vyn. 2006. Short-term versus continuous chisel and no-till effects on soil carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 419-425.

- Patel, M. S. and N. T. Singh. 1981. Changes in bulk density and water intake rate of a coarse textured soil in relation to different levels of compaction. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 29: 110-112.
- Paustian, K., J. Six, E. T. Elliott, and H. W. Hunt. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry* 48: 147-163.
- Paustian, K., O. Andrén, H. H. Janzen, R. Lal, P. Smith, G. Tian, H. Tiessen, M. Van Noordwijk, and P. L. Woomer. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Manage.* 13: 230-244.
- Philip, J. R. 1957. The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.* 83: 345-357.
- Radcliffe, D. E., E. W. Tollner, W. L. Hargrove, R. L. Clark, and M. H. Golabi. 1998. Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a Typic Hapludult soil after ten years. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 798-804.
- Rasse, Daniel P., J. Mulder, C. Moni, and C. Chenu. 2006. Carbon turnover kinetics with depth in a Feench Loamy Soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 70: 2097-2105.
- Reicosky, D. C. 2003. Tillage-induced soil properties and chamber mixing effects on gas exchange. p. 17. *In: Proceedings of International Soil Tillage Research Organizations.* Brisbane, Australia.
- Reicosky, D. C., 2003. Tillage-induced CO₂ emissions and carbon sequestration: effect of secondary tillage and compaction. pp. 291-300. *In: L. García-Torres, J. Benites, A. Martínez-Vilela, A. Holgado-Cabrera (eds.), Conservation agriculture.* Kluwer. Dordrecht, The Netherlands.
- Six, J., E. T. Elliot, and K. Paustian. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358.
- Six, J., K. Paustian, E. T. Elliott, and C. Combrink. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 681-689.
- Smart, J. R. and J. M. Bradford. 1999. Conservation tillage corn production for a semiarid, subtropical environment. *Agron. J.* 91: 116-121.
- Taboada, M. A., F. G. Micucci, D. J. Cosentino, and R. S. Lavado. 1998. Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil Tillage Res.* 49: 57-63.
- Tisdall, J. M. and H. H. Adem. 1986. Effect of water content of soil at tillage on size-distribution of aggregates and infiltration. *Aust. J. Exp. Agric.* 26: 193-195.
- Urbanek, E. and R. Horn. 2006. Changes in soil organic matter, bulk density and tensile strength of aggregates after percolation in conservation and conventional tilled soils. *Int. Agrophysics* 20: 245-255.
- Van Veen, J. A. and P. J. Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry* 11: 213-233.
- Vanden Bygaart, A. J. and B. D. Kay. 2004. Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in southern Ontario, Canada. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 1394-1402.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wander, M. M., M. G. Bidart, and S. Aref. 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62: 1704-711.
- Yang, X. M. and B. D. Kay. 2001. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Can. J. Soil Sci.* 81: 149-156.
- Yoo, G. and M. M. Wander. 2006. Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 651-659.