

Evaluation of tillage methods and manure incorporation into corn silage production

Evaluación de métodos de labranza y aplicación de estiércol en la producción de maíz forrajero

José Apolinar Ramírez-Ibarra¹, Uriel Figueroa-Viramontes^{2*},
Gregorio Núñez-Hernández², David Guadalupe Reta-Sánchez²,
José Luis García-Hernández³

¹Universidad Juárez del Estado de Durango. Doctorado Institucional en Ciencias Agropecuarias y Forestales. Durango, Dgo. México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Laguna, Blvd. José Santos Valdez no. 1200 pte. Matamoros, Coahuila. México. C.P. 27440. Tel. 871-1823177. figueroa.uriel@inifap.gob.mx (*Corresponding author).

³Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Durango, Dgo. México.

Abstract

This study aimed i) to evaluate the feasibility of using minimum tillage on the production of corn silage ii) to determine the combined effect of the tillage method and manure incorporation into soil organic matter. The experiment was conducted in the Comarca Lagunera in the spring of 2007 and 2008. A split plot experimental design was used to evaluate three methods of primary tillage (main plot) and manure incorporation (subplot). The results showed that it is possible to replace conventional tillage by minimum tillage using vertical plow, with the advantage of decreasing soil preparation time by 55 %, which means fewer diesel (54 %) and labor invested, without affecting the yield. The application of 40 t·ha⁻¹ of manure did not affect the yield, but allowed a saving of 50 % of nitrogen and 100 % of phosphorus fertilizer, while increasing soil organic matter by 0.61 %.

Keywords: Vertical plow, disc plow, harrow, nitrogen, organic matter.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivos i) evaluar la factibilidad de uso de la labranza reducida del suelo en la producción de maíz forrajero y ii) determinar el efecto combinado de la labranza y la incorporación de estiércol en la materia orgánica del suelo. El estudio se realizó en la Comarca Lagunera, durante el ciclo de primavera en 2007 y 2008. Un diseño en parcelas divididas se utilizó para evaluar tres métodos de labranza primaria del suelo (parcela principal) y aplicación de estiércol (subparcela). Los resultados sugieren que es posible sustituir la labranza convencional por labranza reducida con arado vertical, con la ventaja de disminuir el tiempo de preparación del suelo en un 55 %, lo que implica menor cantidad de diésel (54 %) y menor mano de obra invertidos, sin afectar el rendimiento. La aplicación de 40 t·ha⁻¹ de estiércol no afectó el rendimiento, pero permitió un ahorro del 50 % del fertilizante nitrogenado y 100 % del fosforado, además de incrementar la materia orgánica del suelo en 0.61 %.

Palabras clave: Arado vertical, barbecho, rastra, nitrógeno, materia orgánica.

Introduction

The region of the Comarca Lagunera, located in the states of Coahuila and Durango, Mexico, keeps 423,000 heads of dairy cattle and ranks first nationally in this category; moreover, there are 142,000 heads of beef cattle and 7.1 million egg laying poultry birds, among other species, which together generate about 1.0×10^6 t·year⁻¹ of manure (dry basis). Dairy cattle produces the largest amount of manure with 84 %, followed by beef cattle with 11 % and egg laying poultry birds with 4 % of the total manure produced by all animal species (López-Calderón, Figueroa-Viramontes, Fortis-Hernández, & Núñez-Hernández, 2013). Given the importance of livestock in the region, silage crops occupy more than 70 % of the cropped area. According to that area, the main crops are: alfalfa, corn silage, sorghum silage, cotton and oat silage; pecan nut, vegetables and other crops are cropped in a smaller area, on an average area close to 150,000 ha (López-Calderón et al., 2013). The silage production system in this region is intensive, with two or three crops per year, two of corn or sorghum in spring and summer, followed by oat or other cereal in winter. Under these conditions, it is important to evaluate minimum soil tillage methods meeting the planting and harvest periods between one crop and another.

On the other hand, soils in arid areas, such as the Comarca Lagunera, have little organic matter, which is directly related to soil physical properties, such as porosity, moisture retention and resistance to compaction, among others (Navarro-Bravo, Figueroa-Sandoval, Martínez-Menes, González-Cossio, & Osuna-Ceja, 2008). Intensive tillage stimulates soil erosion, decomposition of organic matter and soil biodiversity decline (López-Martínez, Vázquez-Vázquez, Salazar-Sosa, Zúñiga-Tarango, & Trejo-Escareño, 2010). In this scenario, minimum tillage and incorporation of manure are two practices that can increase the organic matter, improve soil physical properties and reduce fertilization costs, which contributes to the sustainability of livestock activity in the region.

On the ecological side, in the long term, conservation tillage has a positive effect on carbon sequestration and reduces the emission of greenhouse gases (Delgado et al., 2011). Moreover, this tillage system reduces crop production costs, because by using fewer machinery steps, fuel consumption and the cost of labor is reduced (Ruiz-Espinoza et al., 2009). Studies in Spain have shown diesel cost reductions and working time of 40 and 39 % respectively by replacing conventional tillage for minimum tillage (Pérez & Lafarga, 2008).

It has been found that the use of manure can improve physical, chemical and biological properties of soil

Introducción

La región de la Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango, México, tiene 423,000 cabezas de bovino de leche y ocupa el primer lugar a nivel nacional en este rubro; además existen 142,000 cabezas de bovino de carne y 7.1 millones de aves de postura, entre otras especies, las cuales en conjunto generan cerca de 1.0×10^6 t·año⁻¹ de estiércol (base seca). El bovino lechero genera la mayor parte del estiércol con 84 %, seguido por el bovino de carne con 11 % y el ave de postura con 4 % del total producido por todas las especies animales (López-Calderón, Figueroa-Viramontes, Fortis-Hernández, & Núñez-Hernández, 2013). Dada la importancia de la ganadería en la región, los cultivos forrajeros ocupan más del 70 % de la superficie sembrada. En orden de superficie sembrada, los principales cultivos son: alfalfa, maíz forrajero, sorgo forrajero, algodón y avena forrajera; en menor superficie se siembra también nogal pecanero, hortalizas y otros cultivos, en una superficie promedio cercana a las 150,000 ha (López-Calderón et al., 2013). El sistema de producción de forrajes en esta región es intensivo, con dos o tres cosechas al año, dos de maíz o sorgo en primavera y verano, seguido de avena u otro cereal en invierno. En estas condiciones es importante evaluar métodos de labranza reducida del suelo que se ajuste a los tiempos de cosecha y siembra entre un cultivo y otro.

Por otro lado, los suelos de zonas áridas, como los de la Comarca Lagunera, tienen poca materia orgánica, la cual está directamente relacionada con propiedades físicas del suelo, como porosidad, retención de humedad y resistencia a la compactación, entre otras (Navarro-Bravo, Figueroa-Sandoval, Martínez-Menes, González-Cossio, & Osuna-Ceja, 2008). Aunado a esto, la labranza intensiva favorece la erosión del suelo, la descomposición de la materia orgánica y la disminución de la diversidad biológica del suelo (López-Martínez, Vázquez-Vázquez, Salazar-Sosa, Zúñiga-Tarango, & Trejo-Escareño, 2010). En este escenario, los métodos de labranza reducida del suelo y la incorporación de estiércol, son dos prácticas que pueden incrementar la materia orgánica, mejorar las propiedades físicas del suelo y reducir costos de fertilización, lo cual contribuye a la sustentabilidad de la actividad ganadera en la región.

En el aspecto ecológico a largo plazo, la labranza de conservación tiene un efecto positivo sobre el secuestro de carbono y disminuye la emisión de gases de efecto de invernadero (Delgado et al., 2011). Además, con este sistema de labranza se disminuyen los costos de producción del cultivo, ya que al utilizar menos pasos de maquinaria se reduce el consumo de combustible y el gasto en mano de obra (Ruiz-Espinoza et al., 2009).

(Fortis-Hernández et al., 2009). Also, manure can replace the use of chemical fertilizers, because it provides N and P available for the crop, helping to reduce costs of production and risks of contamination (Figuroa, Núñez, Delgado, Cueto, & Flores, 2009). In a study of corn silage at the end of the first year, an increase of OM from 1.1 to 2.1 % was recorded in treatments of 0 and 40 t·ha⁻¹ of cattle manure, respectively (López-Mtz, Díaz, & Valdez, 2001). However, the doses of application in the Comarca Lagunera are from 60 to over 200 t·ha⁻¹, which causes contamination risks, such as nitrate leaching to groundwater sources (Rodríguez, Castellanos, González, Hernández, & Contreras, 2006).

Therefore, the aims of this study were i) to evaluate the production of corn silage using different primary tillage methods and ii) to determine the combined effect of tillage and incorporation of manure into the dynamics of N and soil organic matter.

Materials and methods

The experiment was carried out at the Experimental Station of La Laguna (CELALA) of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP) of Mexico, located in Matamoros, Coahuila. A total of two cycles, spring-summer (2007 and 2008) were considered for this study. The hybrid corn SB-302 was planted in wet soil, in furrows spaced at 0.76 m and a distance of 0.12 m between plants. The experimental design was split plot; on the main plot, three methods of primary tillage were evaluated: a) conventional tillage, which consisted of disc plowing using a four discs equipment of 75 cm in diameter with a working width of 1.05 m, followed by a disc harrow. b) minimum tillage using vertical plow, which consisted of a chisel plow, a double tool bar with seven subsoil vertical chisels; the chisels are spaced 35 cm and have cutting blades across the middle of the chisel to plow the soil horizontally; also it has a land roller in the back which makes the function of a chisel harrow; the total working width was 2.50 m. c) harrow minimum tillage system, consists in passing the harrow twice over the field, which has two bars with 14 discs each, one bar with notched discs and the other with plain discs; the total working width was 3.00 m; and for this, the same harrow used in the case of conventional tillage was involved here. A John Deer tractor, model 4235 with 120 horsepower (HP) was used in all three cases. In the subplots, the doses of fertilizer were: a) 200-60-00 kg·ha⁻¹ of N-P-K, using ammonium sulfate and phosphoric acid as fertilizers; and b) 40 t·ha⁻¹ manure + 100-00-00 kg·ha⁻¹ of N-P-K, supplied with ammonium sulfate. Main plots were 10 m wide by 50 m long and the subplots were 10 m wide by 25 m long.

The soil where the experiment was conducted was clay soil (22% sand, 31% silt and 47% clay) with a concentration

Investigaciones en España han encontrado reducciones de 40 y 39 % de ahorro de diésel y tiempo de trabajo respectivamente al sustituir la labranza convencional por labranza mínima (Pérez & Lafarga, 2008).

Por otra parte, se ha encontrado que el uso de estiércol puede mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Fortis-Hernández et al., 2009). Asimismo, el estiércol puede sustituir el uso de los fertilizantes químicos, ya que aporta N y P aprovechables por el cultivo, contribuyendo a reducir costos de producción y disminuir riesgos de contaminación (Figuroa, Núñez, Delgado, Cueto, & Flores, 2009). En un estudio con maíz forrajero se registró, al final del primer año, un incremento de MO de 1.1 a 2.1 %, en los tratamientos de 0 y 40 t·ha⁻¹ de estiércol bovino respectivamente (López-Mtz, Díaz, & Valdez, 2001). Sin embargo, las dosis de aplicación en la Comarca Lagunera se usan de 60 a más de 200 t·ha⁻¹, lo cual origina riesgos de contaminación, como la lixiviación de nitratos a las fuentes de agua subterránea (Rodríguez, Castellanos, González, Hernández, & Contreras, 2006).

Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron i) evaluar la producción de maíz forrajero con diferentes prácticas de labranza primaria del suelo, así como ii) determinar el efecto combinado de la labranza y la incorporación de estiércol en la dinámica de N y materia orgánica del suelo.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México. Fueron considerados dos ciclos, primavera-verano (2007 y 2008). La siembra del híbrido de maíz SB-302 se hizo en suelo húmedo, en surcos separados a 0.76 m, y una distancia de 0.12 m entre plantas. El diseño experimental fue de parcelas divididas; en la parcela principal se evaluaron tres métodos de labranza primaria del suelo: a) labranza convencional, que consistió en barbecho con arado de cuatro discos de 75 cm de diámetro, con un ancho de trabajo de 1.05 m, seguido por un paso de rastra de discos. b) labranza reducida con arado vertical, que consistió en un paso de arado de cinceles, el cual consta de una doble barra portaherramientas con siete cinceles tipo subsuelo; los cinceles están separados a 35 cm y tienen alerones a la mitad del cincel para roturar el suelo de manera horizontal; además, cuenta con un rodillo desmenuzador en la parte trasera el cual hace la función de una rastra de picos; el ancho total de trabajo es de 2.50 m. c) labranza reducida con rastra, consiste en doble paso de rastra, la cual tiene dos barras de 14 discos cada una, una de discos dentados y la otra de discos lisos; el ancho total de trabajo fue

of 10.7 mg·kg⁻¹ of inorganic N (ammonium + nitrate), 19 mg·kg⁻¹ P Olsen, 1.06 % organic matter (OM), pH of 8.35 and electrical conductivity (EC) of 0.70 dS·m⁻¹.

The tank was filled with diesel when starting tillage at each large plot to measure diesel consumption during primary soil preparation, and at the end of tillage the tank was refilled. The diesel was measured to replenish the spent fuel using one liter graduated cylinder. A conventional stopwatch was used to record the time spend for soil preparation. The green corn silage yield was evaluated when the cob had a development of 1/3 of the kernel milk line, harvesting a sampling plot of two rows by 10 m long. In the same sampling plot, the final height of 20 randomly selected plants was assessed. To assess dry matter (DM) in silage, three complete plants were cut and dried at 65 °C using a forced air oven, until constant weight; in these samples the percentage of total N was analyzed by the Kjeldahl method (Jones, 2001) and ammonium distillation by steam distillation using a Kjelttec-2300 Foss Tecator device. At the end of each cycle, soil samples were taken from each plot to the depth of 0-30 cm to analyze inorganic N by the method of distillation with magnesium oxide and Devarda alloy using a Kjelttec-2300 Foss-Tecator (Mulvaney, 1996), organic matter was analyzed by the method of Walkley and Black (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2001). The variables assessed were subjected to combined analysis by PROC MIXED using the Statistical Analysis System (SAS, 2009).

Results and discussion

Preparation time and diesel consumption

The time spend for soil preparation was different among cycles and types of tillage. On average, conventional tillage required 6.2 h·ha⁻¹, while tillage using vertical plow took less time (2.8 h·ha⁻¹), soil preparation using harrow required the shortest time (2.2 h·ha⁻¹) (Table 1). This is consistent with previous studies of Ruiz-Espinoza et al. (2009) indicating that replacing conventional tillage by minimum tillage, saves fuel and time.

For the average consumption of diesel, differences were significant among types of tillage, but not between seasons. Conventional tillage is associated with consumption of 56.5 L·ha⁻¹ of diesel, which was higher than the consumption when the vertical plow (26.0 L·ha⁻¹) or the harrow (12.5 L·ha⁻¹) were used. This coincides with Ruiz-Espinoza et al. (2009), who found that minimum tillage is associated to a 47 % fuel savings compared to conventional tillage. Fuel savings by changing conventional tillage to minimum tillage using vertical plow represents about \$ 380.00 (three hundred eighty pesos 00/100) per ha, and it stops emitting 96 kg·ha⁻¹ of CO₂ eq per soil preparation cycle

de 3.00 m; y para ello, se involucró a la misma rastra utilizada en el caso de labranza convencional. En los tres casos se utilizó un tractor John Deer, modelo 4235 de 120 caballos de fuerza (HP). En las subparcelas, las dosis de fertilización fueron: a) 200-60-00 kg·ha⁻¹ de N-P-K, usando sulfato de amonio y ácido fosfórico como fertilizantes; y b) 40 t·ha⁻¹ de estiércol + 100-00-00 kg·ha⁻¹ de N-P-K, suministrados con sulfato de amonio. Las parcelas grandes fueron de 10 m de ancho por 50 m de largo y las chicas de 10 m de ancho por 25 m de largo.

El suelo donde se realizó el experimento es de textura arcillosa (22 % de arena, 31 % de limo y 47 % de arcilla), con una concentración de 10.7 mg·kg⁻¹ de N inorgánico (amonio + nitrato), 19 ppm de P Olsen, 1.06 % de materia orgánica (MO), pH de 8.35 y conductividad eléctrica (CE) de 0.70 dS·m⁻¹.

Para medir el consumo de diésel durante la preparación primaria del suelo se llenó el tanque de diésel al iniciar la labranza de cada parcela grande y al terminar la misma se volvió a llenar. El diésel necesario fue medido para reponer el combustible gastado; para ello se usó una probeta graduada de un litro. Para medir el tiempo de preparación del suelo se utilizó un cronómetro convencional. El rendimiento de forraje en verde se evaluó cuando la mazorca presentó un desarrollo de 1/3 de avance de la línea de leche, cosechando una parcela útil de dos surcos por 10 m de largo. En la misma parcela útil se evaluó la altura final en 20 plantas seleccionadas al azar. Para evaluar la materia seca (MS) en el forraje, se cortaron tres plantas completas y se secaron a 65 °C en estufa de aire forzado, hasta alcanzar peso constante; en estas muestras se analizó el porcentaje de N total mediante el método Kjeldahl (Jones, 2001) y destilación de amonio por arrastre de vapor en un equipo Kjelttec-2300 de Foss-Tecator. Al final de cada ciclo, fueron tomadas muestras de suelo de cada parcela a la profundidad 0-30 cm para analizar N inorgánico por el método de destilación con óxido de magnesio y aleación de Devarda, en un equipo Kjelttec-2300 de Foss-Tecator (Mulvaney, 1996), la materia orgánica se analizó por el método de Walkley y Black (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2001). Las variables evaluadas se sometieron a un análisis combinado mediante PROC MIXED con el programa Statistical Analysis System (SAS, 2009).

Resultados y discusión

Tiempo de preparación y consumo de diésel

El tiempo de preparación del suelo fue diferente entre ciclos y entre tipo de labranza. En promedio, la labranza convencional requirió 6.2 h·ha⁻¹, en tanto que la labranza con arado vertical ocupó un tiempo menor (2.8 h·ha⁻¹) y la preparación con rastra requirió el

Table 1. Preparation time and diesel consumed during soil preparation.**Cuadro 1. Tiempo de preparación y diésel consumido durante el acondicionamiento del terreno.**

	2007		2008		Average / Promedio	
	Time (h·ha ⁻¹) / Tiempo (h·ha ⁻¹)	Consumption of diesel (L·ha ⁻¹) / Consumo de diésel (L·ha ⁻¹)	Time (h·ha ⁻¹) / Tiempo (h·ha ⁻¹)	Consumption of diesel (L·ha ⁻¹) / Consumo de diésel (L·ha ⁻¹)	Time (h·ha ⁻¹) / Tiempo (h·ha ⁻¹)	Consumption of diesel (L·ha ⁻¹) / Consumo de diésel (L·ha ⁻¹)
Conventional tillage / Lab. Convencional	8.43	49.0	4.03	64.0	6.23 a	56.5 a
Vertical plow / Arado vertical	2.55	21.4	3.07	30.6	2.81 b	26.0 b
Harrow / Rastra	2.94	15.7	1.46	9.3	2.20 c	12.5 b

Mean values followed by different letters are statistically different (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

Valores promedio seguidos por distinta letra son estadísticamente diferentes (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

(BioGrace, 2015). In another study Delgado et al. (2011) note that with conservation tillage, greenhouse gas emissions decrease and carbon sequestration in the soil is promoted.

Since the size of the main plot was limited to 50 m in length, the number of rounds made by the tractor was higher than when the commercial plots have 100 or 200 m in length. That is, the time of soil preparation and consumption of diesel reported in this paper may be even lower in commercial plots.

Yield parameters

According to the statistical analysis, the effects of tillage and rates of manure, as well as the interaction between these two factors, showed no significant differences in plant height, number of green leaves, number of dry leaves and yield; while the effect of season lead to very significant differences (Table 2). Therefore, the results are presented as average of the main effects per year (Table 3). Plant height ranged from 281 cm in 2007 to 262 cm in 2008, which were higher than those obtained in 10 genotypes of corn for silage purposes in the Comarca Lagunera (Gutiérrez, Espinoza, Palomo, Lozano, & Antuna, 2004), which ranged between 245 cm and 260 cm.

Table 3 shows the yields of both green corn silage and dry matter production from tillage and fertilization. It can be seen that both yields were lower in the second season, possibly because of a hailstorm that reduced the yield. Differences for green silage yield (GS) and production of dry matter (DM) among tillage levels were not significant. In the first season, the yield of green silage in plots using vertical plow was 80.2 t·ha⁻¹, while conventional tillage was 72.5 t·ha⁻¹. In the second season, the use of harrow was related to an average

menor tiempo (2.2 h·ha⁻¹) (Cuadro 1). Esto coincide con trabajos previos Ruiz-Espinoza et al. (2009) que señalan que al sustituir la labranza convencional por labranza reducida, se ahorra en combustible y tiempo.

En el caso del promedio de gasto de diésel, las diferencias fueron significativas entre tipo de labranza, pero no entre ciclos. A la labranza convencional se asocia un consumo de 56.5 L·ha⁻¹ de diésel, el cual fue mayor al consumo cuando se usó el arado vertical (26.0 L·ha⁻¹) o la rastra (12.5 L·ha⁻¹). Lo anterior coincide con Ruiz-Espinoza et al. (2009), quienes encontraron que a la labranza reducida se asocia un 47 % de ahorro de combustible, comparado con la labranza convencional. El ahorro de combustible al cambiar de labranza convencional a labranza reducida con arado vertical representa unos \$380.00 (Trescientos ochenta pesos 00/100) por ha, además de que se deja de emitir 96 kg·ha⁻¹ de CO₂ eq por ciclo de preparación del suelo (BioGrace, 2015). En otro estudio Delgado et al. (2011) señalan que con la labranza de conservación se disminuye la emisión de gases de efecto de invernadero y se promueve la captura de carbono en el suelo.

Como el tamaño de la parcela principal se limitó a 50 m de longitud, el número de vueltas del tractor fue mayor que cuando las parcelas comerciales son de 100 o 200 m de longitud. Es decir, los tiempos de preparación del suelo y consumo de diésel que se registraron en el presente trabajo pueden todavía ser menores a nivel comercial.

Parámetros de rendimiento

De acuerdo con el análisis estadístico, los efectos del tipo de labranza y dosis de estiércol, así como de la interacción entre ambos factores, presentaron diferencias no significativas en: altura de planta, número de hojas verdes, número de hojas secas y

Table 2. Probability values for variables measured in the field.**Cuadro 2. Valores de probabilidad para las variables medidas en campo.**

Effect / Efecto	Plant height / Altura de planta	Number of green leaves / Núm. de hojas verdes	Number of dry leaves / Núm. de hojas secas	Green silage yield / Rend. Forraje verde	DM silage yield / Rend. Forraje MS
Block / Bloque	0.8228	0.2787	0.8912	0.6996	0.7452
Tillage / Labranza	0.9816	0.3383	0.4057	0.7120	0.9987
Manure / Estiércol	0.8204	0.7915	0.6441	0.7125	0.7292
Tillage x manure / Labranza x estiércol	0.5364	0.607	0.5246	0.5232	0.4175
Cycle / Ciclo	0.0009**	0.0007**	0.0043**	0.0002**	0.0007**
Cycle x tillage / Ciclo x labranza	0.1970	0.5567	0.4865	0.4317	0.4964

**Highly significant effect ($\alpha \leq 0.01$), according to the analysis of variance.

**Efecto altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$), de acuerdo con el análisis de varianza.

Table 3. Plant density, plant height and other variables evaluated during harvest.**Cuadro 3. Densidad de plantas, altura de planta y otras variables evaluadas durante la cosecha.**

		Plant height (cm) / Altura de planta (cm)	Number of green leaves / Núm. de hojas verdes	Number of dry leaves / Núm. de hojas secas	GS Yield (t·ha ⁻¹) / Rend. FV (t·ha ⁻¹)	DM Yield (t·ha ⁻¹) / Rend. MS (t·ha ⁻¹)
2007	Conventional / Convencional	287	12.6	3.5	72.5	21.8
Tillage / Labranza	Vertical plow / A. vertical	280	12.4	3.8	80.2	20.6
	Harrow / Rastra	277	11.7	3.9	70.4	20.7
Manure / Estiércol	0 t·ha ⁻¹	279	12.1	3.7	75.7	21.8
	40 t·ha ⁻¹	283	12.4	3.7	73.0	20.2
2008	Conventional / Convencional	255	11.1	2.9	55.6	16.7
	Tillage / Labranza					
	Vertical plow / A. vertical	262	11.4	2.7	56.3	17.8
	Harrow / Rastra	267	10.8	3.3	58.2	17.6
Manure / Estiércol	0 t·ha ⁻¹	262	11.4	2.9	53.8	16.2
	40 t·ha ⁻¹	261	10.9	3.1	59.6	18.5
Cycle / Ciclo	2007	281 a	12.2 a	3.7 a	74.4 a	21.0 a
	2008	262 b	11.1 b	3.0 b	56.7 b	17.3 b

Values followed by different letters are statistically different (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

Valores seguidos por distinta letra son estadísticamente diferentes (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

yield of green silage of 58.2 t·ha⁻¹, while conventional tillage corresponded to a yield of 55.6 t·ha⁻¹. On the other hand, conventional tillage was related to the highest values of yield of dry matter during the first growing season with 21.8 t·ha⁻¹, while in the second season, the highest value was for vertical plow with 17.8 t·ha⁻¹. From the above, one can deduce that it is feasible to use minimum tillage for corn silage to save fuel and time of machinery without affecting the yield, which agrees with previous results of Murillo-Amador, Beltrán-Morales, García-Hernández, & Fenech-Larios (2006).

Soil analysis

According to the analysis of variance, manure application had a significant effect on the concentration of inorganic N and organic matter (Table 4). The addition of 40 t·ha⁻¹ of manure per season over the two years, caused a significant increase from 1.06 to 1.67 % organic matter at the end of the experiment. In this region, increases up to 1 % of organic matter have been observed with the application of 40 t·ha⁻¹ of manure from dairy sheep (Trejo-Escareño, Salazar-Sosa, López-Martínez, & Vázquez-Vázquez, 2013). In general, an increase in organic matter shows a linear response according to the manure dose; a study in the Comarca Lagunera found an increase of 0.34 % per each 100 t of manure incorporated into the soil (López-Martínez et al., 2010).

The effect of tillage was not significant in the amount of inorganic nitrogen. However, the effect of manure application, as an average of the two seasons, was significantly higher in plots with 40 t·ha⁻¹ (Table 5), maybe because such fertilizer is rich in this nutrient.

rendimiento; en tanto que el efecto de los ciclos indujeron diferencias muy significativas (Cuadro 2). Por lo tanto, los resultados se presentan como promedio de efectos principales por año (Cuadro 3). La altura de planta fluctuó de 281 cm en 2007 a 262 cm en 2008, alturas que fueron mayores a las obtenidas en 10 cruza de maíz con propósitos forrajeros en La Comarca Lagunera (Gutiérrez, Espinoza, Palomo, Lozano, & Antuna, 2004), las cuales fueron entre 245 cm y 260 cm.

El Cuadro 3 muestra los rendimientos tanto en forraje verde como en producción de materia seca de los factores labranza y fertilización. En éste se puede apreciar que ambos rendimientos fueron menores en el segundo ciclo, debido posiblemente a que se presentó una granizada que disminuyó el rendimiento. Las diferencias para rendimiento de forraje verde (FV) y producción de materia seca (MS) entre los niveles de labranza no fueron significativas. En el primer ciclo, el rendimiento en forraje verde en las parcelas con arado vertical fue de 80.2 t·ha⁻¹, mientras que con labranza convencional fue de 72.5 t·ha⁻¹. En el segundo ciclo, al uso de la rastra se asoció un promedio de rendimiento de forraje verde de 58.2 t·ha⁻¹, mientras que a la labranza convencional correspondió un rendimiento de 55.6 t·ha⁻¹. Por otro lado, a la labranza convencional se asocian los valores mayores de rendimiento de materia seca durante el primer ciclo agrícola con 21.8 t·ha⁻¹, mientras que en el segundo ciclo el valor mayor se obtuvo con el del arado vertical con 17.8 t·ha⁻¹. De lo anterior, se puede deducir que es factible utilizar labranza reducida en maíz forrajero para ahorrar combustible y tiempo de uso de maquinaria sin afectar el rendimiento, lo cual coincide con resultados previos de Murillo-Amador, Beltrán-Morales, García-Hernández, & Fenech-Larios (2006).

Table 4. Values of Pr > F for N inorganic N and organic matter in soil.

Cuadro 4. Valores de Pr > F para las variables N inorgánico y materia orgánica en suelo.

Effect/Efecto	Inorganic N/ N inorgánico	Organic matter/ Materia orgánica
Block/Bloque	0.5722	0.0761
Tillage/Labranza	0.6427	0.5833
Manure/Estiércol	0.0345*	0.0055**
Tillage x manure/Labranza x estiércol	0.6362	0.9826
Cycle/Ciclo	0.1846	0.004**
Cycle x tillage/Ciclo x labranza	0.8419	0.4368

*Significant effect ($\alpha \leq 0.05$) and ** Highly significant ($\alpha \leq 0.01$), according to ANOVA

*Efecto significativo ($\alpha \leq 0.05$) y **Altamente significativo ($\alpha \leq 0.01$), de acuerdo al ANOVA

Table 5. Inorganic nitrogen and organic matter recorded at the end of the experiment.
Cuadro 5. Nitrógeno inorgánico y materia orgánica medidos al final del experimento.

	Tillage/Labranza	Manure/ Estiércol	Nitrógeno inorgánico (mg.kg ⁻¹)/ Nitrógeno inorgánico (mg.kg ⁻¹)	Materia orgánica (%)/ Materia orgánica (%)
2007				
Average Tillage/ Prom. Labranza	Conventional/Convencional		17.2	1.93
	Vertical plow/A. Vertical Harrow/Rastra		14.4 16.0	1.68 2.03
Average Manure/Promedio Estiércol		0	12.4	1.56
		40	19.4	2.20
2008				
Prom. Tillage/ Prom. Labranza	Conventional/Convencional		18.6	1.51
	Vertical plow/A. Vertical Harrow/Rastra		16.8 20.2	1.38 1.28
Average Manure/Promedio Estiércol		0	16.7	1.10
		40	20.4	1.67
Average Manure 2007-2008/ Prom. Estiércol 2007-2008		0	14.6 b	1.3 b
		40	19.9 a	1.9 a
	Average cycle/Promedio ciclo	2007	15.9	1.88 a
		2008	18.5	1.39 b

Values followed by different letters are statistically different (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

Valores seguidos por distinta letra son estadísticamente diferentes (LSMEANS, $\alpha = 0.05$)

According to the type of tillage, the values of inorganic N were not different, with values between 14.4 and 20.2 mg.kg⁻¹. Some authors suggest that the higher tillage intensity, the soil becomes more crushed and pulverized, and the soil and organic matter becomes more accessible to the soil microorganisms and thus mineralization and the amount of inorganic nitrogen increase (Verhulst et al., 2010).

Conclusions

When preparing the soil, it is possible to replace conventional tillage by minimum tillage, having the advantage of reducing time and costs of diesel without reducing yields and crop nutrition.

Chemical fertilizers may be replaced partially or completely by organic fertilizers such as manure. It is possible to obtain acceptable yields with well-nourished plants. When applying manure to the soil, the content of organic matter increase.

End of English version

Análisis del suelo

De acuerdo con el análisis de varianza, la aplicación de estiércol tuvo un efecto significativo sobre la concentración de N inorgánico y materia orgánica (Cuadro 4). La adición de 40 t.ha⁻¹ de estiércol por ciclo, durante los dos ciclos, provocó un aumento significativo de 1.06 a 1.67 % de materia orgánica al final del experimento. En esta región se han encontrado incrementos hasta de 1 % de materia orgánica, con la aplicación de 40 t.ha⁻¹ de estiércol de ovino lechero (Trejo-Escareño, Salazar-Sosa, López-Martínez, & Vázquez-Vázquez, 2013). En general, el incremento de materia orgánica muestra una respuesta lineal en función de la dosis de estiércol; un estudio en la región Lagunera encontró un incremento de 0.34 % por cada 100 t de estiércol incorporado al suelo (López-Martínez et al., 2010).

El efecto de la labranza no fue significativo en la cantidad de nitrógeno inorgánico. Sin embargo, el efecto de la aplicación de estiércol, como promedio

Referencias / Referencias

- BioGrace (Biofuel Greenhouse Gas Emissions in Europe). Intelligent Energy for Europe (IEE). Consultado 26-02-2016 en: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>.
- Delgado, J. A., Groffman, P. M., Nearing, A. M., Goddard, T., Reicosky, D., & Lal, R. (2011). Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation*, 66(4), 118-129.
- Figueroa, V. U., Núñez, H. G., Delgado, J. A., Cueto, W. J. A., & Flores, M. J. P. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. In: Orona, C. I., Salazar, S. E., Fortis, H. M. (Eds.), *Agricultura orgánica* (2ª ed., pp. 128-151). Gómez Palacio, Dgo. México: Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J. A., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García, J. A., & García-Hernández, J. L. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 329-336.
- Gutiérrez, R. E., Espinoza, B. A., Palomo, G. A., Lozano, G. J. J., & Antuna, G. O. (2004). Aptitud combinatoria de híbridos para maíz para la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27, 7-11.
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. New York, EUA: CRC Press.
- López-Calderón, M. J., Figueroa-Viramontes, U., Fortis-Hernández, M., & Núñez-Hernández, G. (2013). Estimación del contenido de nitrógeno en los estiércoles y su balance con el requerimiento de nitrógeno de los cultivos en la Comarca Lagunera. Pp. 295-313. In: Fortis-Hernández, M., Orona-Castillo, I., Gallegos-Robles, M. A., Flores-Margez, J. P., Salazar-Sosa, E. Preciado-Rangel, P. (Eds.), *Agricultura Orgánica, sexta parte*. Gómez Palacio, Dgo. México: Facultad de Agricultura y Zootecnia, UJED, Instituto Tecnológico de Torreón, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- López-Martínez, J. D., Díaz, A., & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra*, 19(4), 293-299.
- López-Martínez, J. D., Vázquez-Vázquez, C., Salazar-Sosa, E., Zúñiga-Tarango, R., & Trejo-Escareño, H. I. (2010). Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero. *Phyton*, 79(1), 47-54.
- Mulvaney, R. L. (1996). Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks, D. L. (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3*. Madison, WI. EUA: Soil Science Society of America.
- Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F. A., García-Hernández, J. L., & Fenech-Larios, L. (2006). *La agricultura orgánica en Baja California Sur*. La Paz, B.C.S., México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- de los dos ciclos, fue significativamente mayor en las parcelas con 40 t·ha⁻¹ (Cuadro 5), debido quizás a que dicho abono es rico en este nutrimento.
- Respecto al factor tipo de labranza, los valores de N inorgánico no fueron diferentes, con valores entre 14.4 y 20.2 mg·kg⁻¹. Algunos autores señalan que entre más se incremente la labranza, más se tritura y pulveriza el suelo, así se hace más accesible la materia orgánica a los microorganismos del suelo y, por lo tanto, la mineralización y la cantidad de nitrógeno inorgánico se incrementan (Verhulst et al., 2010).

Conclusiones

En la preparación del terreno es posible sustituir la labranza convencional por labranza reducida, con la ventaja de disminuir tanto el tiempo como el gasto de diésel, sin disminuir los rendimientos ni la nutrición del cultivo.

Los fertilizantes químicos pueden ser sustituidos parcial o totalmente por fertilizantes orgánicos como el estiércol. Así es posible obtener rendimientos aceptables con plantas bien nutridas. Al aplicar estiércol se aumenta el contenido de materia orgánica del suelo.

Fin de la versión en español

- Navarro-Bravo, A., Figueroa-Sandoval, B., Martínez-Menes, M., González-Cossio, F., & Osuna-Ceja, E. S. (2008). Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 151-158.
- Pérez, C. J. J., & Lafarga, A. (2008). *Ahorro y eficiencia energética en agricultura*. España: Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación del Gobierno de Navarra.
- Rodríguez, J. G. M., Castellanos, Z., González, M. R., Hernández, G. N., & Contreras, R. F. (2006). *Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del Estado de Guanajuato*. Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, 6(3), 379-388.
- Ruiz-Espinoza, F. H., Vázquez-Vázquez, C., García-Hernández, J. L., Salazar-Sosa, E., Orona-Castillo, I., & Zúñiga-Tarango, R. (2009). Comparación del costo energético de dos manejos del suelo para albahaca. *Terra Latinoamericana*, 27, 383-389.
- SAS Institute. (2009). *SAS-STAT user's guide*. SAS Institute. Cary, NC, EUA: SAS Institute.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2001). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad

- y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis (NOM-021-SEMARNAT-2000). Consultado 8-02-2016 en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/021.pdf>
- Trejo-Escareño, H. I., Salazar-Sosa, E., López-Martínez, J. D., & Vázquez-Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(5), 727-738.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., & Wall, P. (2010). Conservation Agriculture, Improving Soil Quality for Sustainable Production Systems. In: Lal, R., Stewart, B.A. (eds.). *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.