

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ FORRAJERO EVALUADOS CON LABRANZA Y FERTILIZACIÓN ORGÁNICA-INORGÁNICA

Soil Physical Characteristics and Corn Forage Yield Evaluated with Tillage Systems and Organic-Inorganic Fertilization

José Dimas López-Martínez^{1†}, Alfonso Ávalos-Marines¹, Enrique Martínez-Rubín de Celis², Ricardo Valdez-Cepeda³ y Enrique Salazar-Sosa¹

RESUMEN

La Comarca Lagunera es una de las regiones agrícolas y ganaderas más importantes de México. En esta zona existen más de 415 000 cabezas de ganado, con aproximadamente 57.8% (240 000) en producción y ahí son generadas 820 000 t año⁻¹ de estiércol de bovino, lo cual plantea la posibilidad de su uso en la agricultura. Por otro lado, poca importancia se ha dado a la conservación del suelo como recurso natural no renovable, el cual es afectado por el uso inadecuado y, en general, excesivo de la maquinaria agrícola. Durante el verano de 2003, se evaluaron el sistema de labranza tradicional (Lt), el sistema de labranza de conservación (Lc) y la aplicación de estiércol bovino y fertilización química sobre algunas características físicas del suelo y el rendimiento del maíz forrajero. Se usaron ocho tratamientos: T1 = Lt + 20 t ha⁻¹; T2 = Lt + 40 t ha⁻¹; T3 = Lt + 60 t ha⁻¹; T4 = Lt + 120-60-00 kg de nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K), respectivamente; T5 = Lc + 20 t ha⁻¹; T6 = Lc + 40 t ha⁻¹; T7 = Lc + 60 t ha⁻¹ y T8 = Lc + 120-60-00 kg de NPK. Se usó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Los resultados mostraron que, en el contenido de humedad, existió diferencia entre tratamientos y el Tratamiento 7 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol bovino) mostró la mayor retención de humedad. En compactación del suelo no hubo diferencia entre

tratamientos. Para resistencia al corte, el Tratamiento 4 (Lt + fertilización química) fue el mejor, con 32.875 kg fuerza. El mayor rendimiento se obtuvo con el Tratamiento 6 (40 t ha⁻¹ de estiércol bovino) con 101.98 t ha⁻¹ de forraje verde. La labranza de conservación y fertilización orgánica mejoraron las características físicas del suelo e incrementaron el rendimiento de forraje.

Palabras clave: estiércol bovino, forraje, labranza de conservación.

SUMMARY

The Comarca Lagunera is one of the most important agricultural and livestock regions of Mexico. This area has more than 415 000 heads of cattle, with approximately 57.8% (240 000) in production, and 820 000 t yr⁻¹ bovine manure is generated, raising the possibility of its use in agricultural systems. On the other hand, little attention is given to soil conservation as a non-renewable natural resource which is affected by an inadequate and, in general, an excessive use of agricultural machinery. This study was done during the summer of 2003 to evaluate two tillage systems [traditional (TT) and conventional (CT) and organic-inorganic fertilization], considering some soil physical characteristics and yield forage. Eight treatments were studied (T1 = TT + 20 t ha⁻¹; T2 = TT + 40 t ha⁻¹; T3 = TT + 60 t ha⁻¹; T4 = TT + 120-60-00 kg nitrogen, phosphorus and potassium (NPK), respectively; T5 = CT + 20 t ha⁻¹; T6 = CT+40 t ha⁻¹; T7 = CT + 60 t ha⁻¹; and T8 = CT + 120-60-00 kg NPK). A random block design with four replications was used. The results indicated differences in soil moisture content; Treatment 7 (CT plus 60 t ha⁻¹ manure) showed the highest soil moisture retention. Soil consistence was not a statistical parameter. For resistance at cutting, Treatment 4 (TT plus chemical fertilization) was the best treatment with 32.875 kg power. The highest yield was obtained

¹ Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Apdo. Postal 1-142, 35000 Gómez Palacio, Durango, México.

[†] Autor responsable (jose_dimaslopez@hotmail.com)

² Instituto Tecnológico Agropecuario No. 10, Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios. Apdo. Postal 3-F, 27000 Torreón, Coahuila, México.

³ Centro Regional Universitario Centro Norte, Universidad Autónoma Chapingo. Apdo. Postal 196, 98001 Zacatecas, Zacatecas, México.

with Treatment 6 (CT system with 40 t ha⁻¹ manure) with 101.98 t ha⁻¹ green forage production. Thus, conservation tillage system and organic fertilization improved physical soil characteristics and increased forage yield.

Index words: bovine manure, forage, conservation tillage.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es una de las regiones agrícolas y ganaderas más importantes de México (SAGAR, 1999a). En la región existen aproximadamente 415 000 cabezas de ganado (Siglo de Torreón. Suplemento estadístico de la Región Lagunera, 1 de enero de 2002), que generan 820 000 t de estiércol, materia orgánica con potencial de uso agrícola (Cabrera *et al.*, 1999). En 2001, se establecieron 18 000 ha de maíz forrajero, con un rendimiento de 785 000 t de forraje verde y un rendimiento promedio de 43.8 t ha⁻¹ (Siglo de Torreón. Suplemento estadístico de la Región Lagunera, 1 de enero de 2002). No obstante, la escasez de agua es uno de los principales problemas en La Laguna para la producción agrícola (Orona *et al.*, 2003). Por otra parte, esta región presenta suelos degradados física, química y biológicamente a causa del uso irracional de agroquímicos (Castellanos, 1982), aunado a la poca importancia que se ha dado a la conservación del suelo como recurso natural no renovable, el cual es afectado por el uso inadecuado y excesivo de maquinaria agrícola (Martínez *et al.*, 2004).

La labranza convencional es uno de los mayores procesos involucrados en la alteración de las propiedades del suelo; sin embargo, los cambios en humedad, compactación y densidad aparente, después de la labranza, son difíciles de predecir, debido al escaso conocimiento de la interacción entre los implementos agrícolas y el suelo (Alberts *et al.*, 1989). Lo anterior ha provocado que, en la actualidad, se busquen alternativas para entender dicha interacción y, por ende, hacer un uso sustentable de los recursos agua y suelo (Orona *et al.*, 2003).

La labranza de conservación representa una alternativa para enmendar los suelos, ya que este sistema de labranza reduce las pérdidas de suelo y agua. Este tipo de labranza corresponde a una forma de labranza de no-inversión que mantiene residuos de cosecha sobre la superficie, a diferencia de la labranza convencional

(Cox *et al.*, 1990). Además, la labranza de conservación se considera como un sistema que mantiene la rugosidad en el suelo, controla la erosión y logra una buena relación suelo-agua (Allmaras y Dowdy, 1985). Asimismo, este tipo de labranza provoca cambios positivos en las propiedades físicas de los suelos (Luttrell, 1977), por lo que, al establecer la labranza de conservación, en regiones con escasez de agua y degradación física en sus suelos, es factible que la capacidad de retención de humedad aumente y la compactación disminuya. En este contexto, resulta de interés analizar cómo se comportan las propiedades físicas de suelos de la Comarca Lagunera al ser sometidos al sistema de labranza de conservación.

Por lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron aplicar dos sistemas de labranza (convencional y de conservación) con la adición de abonos orgánicos y fertilizantes químicos, y evaluar su efecto sobre algunas propiedades físicas (retención de humedad y compactación) de un suelo de la Comarca Lagunera y el rendimiento de maíz forrajero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2003, en el campo experimental del SIGA-ITA 10, km 7.5 de la carretera Torreón-San Pedro, en el ejido Anna, municipio de Torreón, Coahuila, México (26° 30' N y 104°35' O, con una altitud de 1100 m).

El clima de la región, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), es un BWhw(e) que se caracteriza como seco desértico a estepario cálido, con lluvias en verano e invierno frío y seco, y precipitación total anual de 258 mm y temperatura media anual de 21 °C. La evaporación total anual es de 2000 mm; el lapso comprendido entre mayo y agosto es el más caluroso del año, mientras que los meses de diciembre y enero son los más fríos.

La vegetación predominante está conformada por comunidades de matorral xerófilo; en las mesetas, el tipo dominante es matorral desértico rosetófilo y, en las planicies, las comunidades vegetales corresponden a formas de mezquiales (PAIR-UNAM, 1997).

Las subunidades de suelos dominantes son Xerosoles háplicos y calcáricos, de textura media (migajón-arcillosos), con una capacidad de campo (CC) de 34.5%, un porcentaje de marchitez permanente (PMP) de 18.1 y una densidad aparente entre 1.14 y 1.3 g cm⁻³ (FAO/UNESCO, 1976).

Las principales fuentes hidrológicas son los ríos Nazas y Aguanaval; se cuenta con dos presas de almacenamiento: Lázaro Cárdenas, con capacidad de 2732.9 millones de m³, y Francisco Zarco, con capacidad de 358 millones de m³ (SARH, 1992).

La siembra se realizó el 11 de abril de 2003. El cultivo se estableció a una distancia entre surcos de 0.75 m y entre plantas de 0.20 m, con una población de 66 000 plantas ha⁻¹; la variedad que se utilizó fue la S-806, genotipo usado en la zona por ser de gran potencial forrajero (Núñez-Hernández *et al.*, 2003). La parcela experimental total tuvo una dimensión de 2304 m², superficie que se distribuyó en 32 unidades experimentales de 8 m x 9 m.

Se aplicaron dos sistemas de labranza: uno, tradicional (Lt), el cual consistió de un paso de arado y dos de rastra, y otro, de conservación (Lc), en el cual se dio un paso de rastra. En cada sistema se adicionaron tres dosis (20, 40 y 60 t ha⁻¹) de estiércol bovino y una dosis de fertilizante químico con formulación 120-60-00 (kg de N, P y K, respectivamente), que corresponde a la dosis recomendada para la región (SAGAR, 1999b). Al combinar los sistemas de labranza con el abono orgánico y el químico se tuvieron como resultado ocho tratamientos: T1 = Lt + 20; T2 = Lt + 40; T3 = Lt + 60; T4 = Lt + 120-60-00; T5 = Lc + 20; T6 = Lc + 40; T7 = Lc + 60 y T8 = Lc + 120-60-00.

Los riegos se aplicaron según lo establecido por el plan operativo del cultivo del maíz; se utilizó un sistema de multicompuertas con láminas de 13 cm y el primer riego se aplicó el 29 de marzo, y el quinto, el 21 de junio, con intervalos de 18 a 20 días (SAGAR, 1999b).

La distribución de los tratamientos en el campo se llevó a cabo con un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones y se utilizó el modelo (Olivares-Sáenz, 1996):

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + T_i + \epsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ij} = la observación del tratamiento i en el bloque j ; μ = el efecto verdadero de la media general; T_i = el efecto del i -ésimo tratamiento; β_j = el efecto del j -ésimo bloque; ϵ_{ijk} = el error experimental.

Se determinaron cuatro variables: 1) la humedad de campo del suelo (HC), en tres fechas durante el ciclo de cultivo (21 de abril, 28 de mayo y 23 de junio) y a tres profundidades (de 0 a 15, 15 a 30, y 30 a 45 cm); 2) la compactación del suelo, al inicio y al final del ciclo, en las capas de 0 a 15 y de 15 a 30 cm; 3) la resistencia al corte del suelo, al final del ciclo (a dos profundidades 0 a 15 y 15 a 30 cm); y 4) el rendimiento de forraje verde (en la cosecha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad en el Suelo

El contenido de humedad de campo (HC) varió con respecto al tiempo de la toma de la muestra (Cuadro 1). De todos los tratamientos, el T7 presentó el mayor contenido de HC en las capas de 0 a 15, 15 a 30 y 30 a 45 cm de profundidad (21.04, 20.32 y 19.81%), donde al menos un tratamiento fue diferente (Cuadro 2). Este resultado se debe a que la labranza reducida favorece la conservación de humedad en suelos cultivados (Navarro *et al.*, 2000; Mora *et al.*, 2001). Por otra parte, Phillips *et al.* (1980) indicaron que en suelos de la unidad de los Xerosoles, con sistemas de labranza de conservación, hay una mayor retención de humedad, debido a la reducción de pérdidas de agua por la cobertura vegetal sobre el suelo; además, disminuyen la erosión y la evaporación de la humedad. Asimismo, la retención de humedad en capas profundas se incrementa (de 9 a 23%) cuando se utiliza labranza de conservación, en comparación con el arado de cincales (Byron *et al.*, 2004), y, en consecuencia, se hace un eficiente uso del agua (Onstad y Ottbery, 1979).

Cuadro 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza para humedad, compactación, resistencia al corte y rendimiento de forraje en maíz. SIGA-ITA 10. Torreón, Coahuila, México. 2003.

Variable	gl	Muestreo		
		1	2	3
Humedad	7	145.056314*	90.0583392*	56.7884129*
Compactación	7	338.73213 ns	1047.41439 ns	
Resistencia al corte	7	72.6785714*		
Rendimiento de forraje	7	638.158564 *		

* Diferencia significativa a 0.05; ns = no significancia estadística a 0.05.

Cuadro 2. Efectos estadísticos y comparación de medias de humedad, compactación, resistencia al corte y rendimiento en verde el cultivo de maíz forrajero SIGA-ITA 10 Torreón, Coahuila, México. 2003.

Tratamientos	T7(Lc+60 t)	T6(Lc+40 t)	T5(Lc+20 t)	T3(Lt+60 t)	T1(Lt+20 t)	T3(Lc+40 t)	T8(Lc+fq)	T4(Lt+fq)
Humedad	21.0375 a	18.9195 b	18.5310 b	16.6775 c	15.6340 c	14.8625 d	14.6870 d	12.8095 e
Compactación	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Resistencia al corte	T2 (Lt+40 t)	T1(Lt+20 t)	T3(Lt+60 t)	T5(Lc+20 t)	T6(Lc+40 t)	T8(Lc+fq)	T7(Lc+60 t)	T4(Lt+fq)
	42.125 a	38.375 a	37.375 ^a b	37.000 ab	36.125 ab	35.125 b	33.000 b	32.875 b
Rendimiento de forraje	T6(Lc+40 t)	T7(Lc+60 t)	T2(Lt+40 t)	T8(Lc+fq)	T1(Lt+20 t)	T5(Lc+20 t)	T3(Lt+60 t)	T4(Lt+fq)
	101.98 a	89.60 b	86.12 b	79.84 b	79.74 b	76.82 b	72.24 c	59.09 c

* Medias con la misma letra son estadísticamente iguales a 0.05.

Compactación del Suelo

Los resultados muestran que no existe diferencia significativa entre tratamientos (Cuadros 1 y 2) en las dos profundidades. Para 0 a 15 cm, los valores más bajos de compactación se encontraron en el Tratamiento 7 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol) y Tratamiento 3 (Lt + 60 t ha⁻¹ de estiércol) 1.4267 y 1.4310 MPa, respectivamente. De 15 a 30 cm, los valores más bajos se apreciaron en los Tratamientos 7 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol) y Tratamiento 5 (Lc + 20 t ha⁻¹ de estiércol) con 1.4826 y 1.4963 MPa (Figura 1). A este respecto, Lutrel *et al.* (1977) y Barraclough *et al.* (1991) señalaron que al aplicar labranza de conservación con diferentes niveles de cobertura, se alcanza una mayor porosidad y, por ende, una menor compactación en el suelo.

Resistencia al Corte

En marco de esfuerzo torcional (resistencia al corte), se obtuvo diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 1). El Tratamiento 4 (Lt + fertilización química) presentó el valor más bajo (32.875 kg fuerza) seguido

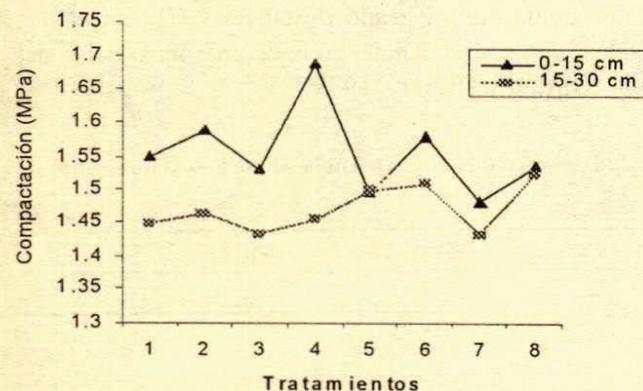


Figura 1. Compactación del suelo en el cultivo de maíz forrajero. Torreón, Coahuila, México. 2003.

de los Tratamientos 7 y 8 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol y Lc + fq) con valores de 33.00 y 35.125 kg fuerza, respectivamente. Sin embargo, debe considerarse que la prueba de medias del Cuadro 2 indica que estos tratamientos (4, 7 y 8) son estadísticamente iguales. Los resultados para los Tratamientos 7 y 8 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol y Lc + fq) se deben a la menor inversión del terreno, ya que la resistencia del suelo se reduce con el menor laboreo (Rivas *et al.*, 1998), y al uso de maquinaria excesivo sobre el suelo que tiende a destruir la estructura, la porosidad y aumentar la compactación (Bahman y Power, 1999). Lo anterior coincide con Schwab *et al.* (2002), quienes encontraron que el menor índice de cono o menor compactación correspondió a tratamientos de no inversión de suelo (labranza cero) con un valor de 340 kg fuerza y el más alto fue para el tratamiento de labranza convencional con 498.7 kg fuerza.

Rendimiento

El rendimiento de forraje mostró diferencia por efecto de tratamientos (Cuadro 1). El Tratamiento 6 (Lc con 40 t ha⁻¹ de estiércol) tuvo un rendimiento de 101.98 t ha⁻¹, seguido, en orden de importancia, por los Tratamientos 7, 2, 8, 1 y 5 con 89.6, 86.12, 79.84, 79.74 y 76.82 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). El menor rendimiento (59.09 t ha⁻¹) se obtuvo con el Tratamiento 4 (Lt con fertilización química). Lo anterior coincide con lo que reportaron Bahman *et al.* (2004), quienes encontraron que el mayor rendimiento de forraje verde en maíz se obtuvo con dosis de estiércol que variaron de 60 a 120 t ha⁻¹. Al respecto, Magdoff (1978) indicó que estiércoles de distintas especies y contenidos se descomponen en diferentes intervalos de tiempo. Lo anterior se debe a que los desechos orgánicos se mineralizan de 50 a 60% en el primer año y la mineralización decrece en los años subsecuentes; proceso

que tiene una duración de cinco años aproximadamente. No obstante, el efecto en el suelo puede observarse a partir del primer año de aplicación, independientemente del abono orgánico de que se trate, razón por la cual tiene influencia en el rendimiento de un cultivo (Pratt *et al.*, 1973). Wade (1983) encontró que, con la incorporación de abonos orgánicos y cubiertas (mulch) de kudzu y pastos, se alcanzaron rendimientos de 90 y 81 t ha⁻¹, en comparación con lo obtenido en los tratamientos fertilizados. Estos resultados son importantes si se considera que algunos productores aplican, en ocasiones, hasta 200 t ha⁻¹, las cuales, si son de estiércol de bovino, incorporan al suelo 423 kg de N (Castellanos, 1982; Castellanos *et al.*, 1996). Esto, además de ser un desperdicio de recursos, trae consigo disturbios al medio ambiente.

CONCLUSIONES

- El contenido de humedad del suelo en las diferentes profundidades mostró que los tratamientos de labranza de conservación y las dosis de 40 y 60 t ha⁻¹ de estiércol bovino presentaron la mayor retención de humedad.
- Para compactación del suelo no existió diferencia entre tratamientos en las dos profundidades (0 a 15 y 15 a 30 cm).
- La resistencia al corte presentó diferencias y el Tratamiento 4, con valor de 32.875 kg fuerza, fue estadísticamente igual a los Tratamientos 7 y 8 (Lc + 60 t ha⁻¹ de estiércol y Lc + fq).
- Para rendimiento de forraje, el Tratamiento 6 (Lc + 40 t ha⁻¹) presentó el mayor rendimiento con 101.98 t ha⁻¹; el rendimiento más bajo (59.09 t ha⁻¹) se obtuvo con el Tratamiento 4 (Lt + fertilización química); el Tratamiento 8 (Lc + con fertilización química) fue superior a éste en 20.79 t ha⁻¹ de forraje verde.
- La labranza de conservación mejoró las características físicas del suelo evaluadas; esto se reflejó en mejores condiciones para la siembra y repercutió en un adecuado rendimiento de forraje, superior al promedio de 43.8 t ha⁻¹ que se obtiene en la región.

LITERATURA CITADA

- Alberts, E. E., J. M. Laflen, W. J. Rawls, J. R. Simantron y M. A. Nearing. 1989. Soil component. USDA-ARS Report N12. National Soil Erosion Research Laboratory. W. Lafayette, IN.
- Allmaras, R. R. y R. H. Dowdy. 1985. Conservation tillage systems and their adoption in the United States. *Soil Tillage Res.* 5: 197-222.
- Bahman, E. y J. F. Power. 1999. Composted and no-composted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agron. J.* 91: 819-825.
- Bahman, E., D. Ginting y J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447.
- Barracough, P. B., A. H. Weir y H. Kuhlmann. 1991. Factors affecting the growth and distribution of winter wheat roots under UK field conditions. pp. 410-417. *In*: B. I. McMichael y H. Person (eds.). *Plant roots and their environment*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Byron, J. H., B. G. Young y S. K. Chong. 2004. Weed management in strip tillage corn. *Agron. J.* 96: 229-235.
- Cabrera-Moreira, S., C. Pérez-Olmo, E. Pla-Rodríguez, J. Domínguez-Brito y E. O. Abreu. 1999. Influencia de la materia orgánica sobre los índices estructurales fundamentales de un vertisol y los rendimientos de caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 8: 55-58.
- Castellanos, J. Z. 1982. La utilización de los estiércoles en la Comarca Lagunera. Ingenieros Agrónomos del Tecnológico de Monterrey (IATEM). pp. 11-19. Torreón, Coahuila, México.
- Castellanos, J. Z., J. J. Marques-Ortiz, J. D. Etchevers-Barra, A. Aguilar-Santelises y J. R. Salinas. 1996. Efecto a largo plazo de la aplicación de estiércol de ganado lechero sobre el rendimiento de forrajes y las propiedades del suelo en una región árida irrigada del norte de México. *Terra*. 14: 151-158.
- Cox, W. J., R. W. Zobel, H. M. van Es y D.J. Otis. 1990. Tillage effects on some physical and corn physiological characteristics. *Agron. J.* 82: 806-817.
- FAO-UNESCO. 1976. Mapa mundial de suelos. 1:5 000 000. Volumen I Leyenda. Roma, Italia.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana. Tercera edición. Offset Larios. México, D. F.
- Luttrell, D. H., C. W. Bockhop y W. G. Lovely. 1977. The effect of tillage operations on soil physical conditions. *ASAE* 64: 103-107.
- Magdoff, F. R. 1978. Influence of manure application rates and continuous corn on soil-N. *Agron. J.* 70: 629-632.
- Martínez-Rubín de Celis, E., H. Barrón-Reyna, J. D. López-Martínez y R. D. Valdez-Cepeda. 2004. Comportamiento de la compactación y humedad del suelo en función de los implementos de labranza. *Terra Latinoamericana* 22: 35-40.
- Mora-Gutiérrez, M., V. Ordaz-Ch., J. Z. Castellanos, A. Aguilar-Santelises, F. Gavi y V. Volke-H. 2001. Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un Vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra* 19: 67-74.
- Navarro-Bravo, A., B. Figueroa-Sandoval, V. M. Ordaz-Chaparro y F. V. González-Cossio. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra* 18: 61-69.
- Núñez-Hernández, G., E. F. Contreras-Govea y R. Faz-Contreras. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Técnica Pecuaria Mexicana* 41: 37-48.
- Olivares-Sáenz, E. 1996. Diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, Nuevo León, México.

- Onstad, C. A. y M. A. Otterby. 1979. Estimating the effects of cropping. Tillage and erosion control practices over large areas. *ASAE* 64: 111-115.
- Orona-Castillo, I., A. Flores-Hernández, M. Rivera-González, J. Guillermo-Martínez y J. de J. Espinoza-Arellano. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. *Terra* 21: 195-201.
- PAIR-UNAM. 1997. Programa de desarrollo regional sustentable del semidesierto. SEMARNAP. Durango, Durango, México.
- Phillips, R. E., R. L. Blevings, G. W. Thomas, W.W. Frye y H. Phillips. 1980. No-tillage agriculture. *Science* 208: 1108-1113.
- Pratt, P. F., F. E. Broadbert y J. P. Martin. 1973. Using organic wastes as nitrogen fertilizer. *Calif. Agric.* 27: 10-13.
- Rivas, E., M. Rodríguez y U. Manrique. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de maíz en los llanos altos del estado Monagas. *Agron. Trop.* 48: 157-174.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1999a. Anuario estadístico de la producción agropecuaria. Ciudad Lerdo, Durango, México.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1999b. Paquetes tecnológicos y costos de producción de los principales cultivos de la Comarca Lagunera. Ciudad Lerdo, Durango, México.
- SARH (Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos). 1992. Estadísticas de la producción agropecuaria y forestal 1991. Ciudad Lerdo, Durango, México.
- Schwab, E. B., D. W. Reeves, C. H. Burmester y R. L. Raper. 2002. Conservation tillage systems for cotton in the Tennessee Valley. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 569-577.
- Wade, M. K. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon basin. *Agron. J.* 75: 39-45.