

EFFECTO RESIDUAL DE ESTIÉRCOL BOVINO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ FORRAJERO Y PROPIEDADES DEL SUELO

Residual Effect of Cow Manure on Silage Corn Yield and Soil Properties

Enrique Salazar-Sosa^{1,2‡}, Héctor Idilio Trejo-Escareño^{1†}, José Dimas López-Martínez¹, Cirilo Vázquez-Vázquez¹, J. Santos Serrato-Corona¹, Ignacio Orona-Castillo¹ y Juan Pedro Flores-Márgez³

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto residual de seis años de aplicación continua de estiércol bovino, en el rendimiento de maíz forrajero y en las características de fertilidad del suelo. El trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental de la FAZ-UJED, Gómez Palacio, Durango, durante el año 2004. Los tratamientos, establecidos desde 1998, fueron dosis de estiércol de 0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹, aplicado anualmente en las mismas parcelas, así como fertilización química con 150-150 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente. Los mejores tratamientos fueron 40 y 80 Mg ha⁻¹ con rendimientos de 86.28 y 85.09 Mg ha⁻¹ de peso verde y, 34.83 y 34.81 Mg ha⁻¹ de materia seca, respectivamente. Después de seis años de incorporar estiércol bovino, los valores iniciales indican que con 100 Mg ha⁻¹ de estiércol la materia orgánica (MO) incrementó 2.11%, la concentración NO₃ 44.5 mg kg⁻¹ y la conductividad eléctrica (CE) 2.71 dS m⁻¹. Las concentraciones más altas de MO (hasta 3%) se registraron en los primeros 15 cm de profundidad en los tratamientos con estiércol. El tratamiento con 160 Mg ha⁻¹ de estiércol mostró el mayor contenido de NO₃ en el suelo (75.5 mg kg⁻¹; capa de 0-15 cm), así como la mayor CE con valores superiores a 4 dS m⁻¹. Después de seis años de incorporación continua de estiércol bovino, el N residual fue suficiente para producir maíz forrajero sin aplicar fertilizantes químicos.

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. 35110 ejido Venecia, Gómez Palacio, Durango, México.

[‡] Autor responsable (enmageell@yahoo.es)

[†] Autor para correspondencia (fazujed@yahoo.com.mx)

² Instituto Tecnológico de Torreón. Km 7.5 carretera Torreón-San Pedro. Apartado Postal 42. 27070 Torreón, Coahuila, México.

³ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Henry Dunant 4016. 32310 Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Recibido: abril de 2010. Aceptado: noviembre de 2010.
Publicado como nota de investigación en
Terra Latinoamericana 28: 381-390.

Palabras clave: *Zea mays*, materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrato.

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the residual effect of cow manure after 6 years of continuous application, in the silage corn yield and soil fertility characteristics. The research was carried out at the Experimental Center of the FAZ-UJED, Gomez Palacio, Durango, during 2004. The treatments established since 1998 were manure rates of 0, 40, 80, 120, and 160 Mg ha⁻¹, applied annually to the same plots, as well as a treatment with chemical fertilizer (150-150 kg ha⁻¹; N-P₂O₅). The results indicated that the best treatments were the rates 40 and 80 Mg ha⁻¹ of manure, yielding 86.28 and 85.09 Mg ha⁻¹ fresh weight and 34.83 and 34.81 Mg ha⁻¹ in dry matter, respectively. After six years of cow manure incorporation to the soil, the initial values indicated that every 100 Mg ha⁻¹ of manure increased organic matter in 2.11%, nitrate in 44.5 mg kg⁻¹, and electrical conductivity in 2.71 dS m⁻¹. After harvest, high organic matter values, more than 3%, were registered at 0-15 cm depth. The treatment with 160 Mg ha⁻¹ also showed the highest soil nitrate concentration: 75.5 mg kg⁻¹. The electrical conductivity was highest in the treatment of 160 Mg ha⁻¹, with values over 4 dS m⁻¹. After six years of continuous incorporation of cow manure, residual nitrogen and other nutrients were enough for silage corn production without applying chemical fertilizer.

Index words: *Zea mays*, organic matter, electrical conductivity, nitrate.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera de México con cerca de 500 000 cabezas de ganado bovino que excretan alrededor de

1 200 000 Mg año⁻¹ (Salazar *et al.*, 2007). El uso excesivo de fertilizantes químicos ha incrementado la disponibilidad de nutrientes, tanto para la planta como para los microorganismos presentes, acelerando la actividad enzimática y como consecuencia la descomposición de materiales orgánicos, lo que favorece la continuidad de ciclos biológicos como el del nitrógeno (N). Actualmente, hay interés por el uso de los estiércoles como fuente de materia orgánica (MO), sin embargo, en las últimas décadas poca tecnología se ha generado para la utilización de este desecho de la ganadería y la avicultura (Del Pino *et al.*, 2008). Uno de los principales problemas en esta región es la baja fertilidad de los suelos provocada por una sobre explotación de los mismos (Salazar *et al.*, 2007). Del Pino *et al.* (2008) reportan que la aplicación de estiércol incrementa la actividad y cantidad de biomasa microbiana del suelo y, son una alternativa para reducir el uso de agroquímicos, entre ellos los fertilizantes. Por lo cual se propone el uso de abonos orgánicos como complemento a los requerimientos nutrimentales del cultivo con fertilizantes minerales con el fin de incrementar el rendimiento y la calidad de los productos.

Gallegos y López (2001) realizaron un experimento con fertilizantes orgánicos para estudiar el efecto sobre el rendimiento en algodón transgénico; éstos reportan que el tratamiento con estiércol bovino presentó mayor rendimiento (7 Mg ha⁻¹) que la gallinaza (5.3 Mg ha⁻¹) y el fertilizante inorgánico utilizado como testigo (5.5 Mg ha⁻¹). La dosis de 164 kg ha⁻¹ de N con 77 Mg ha⁻¹ de estiércol fue el mejor tratamiento. En un estudio con tomate, la mayor producción resultó con el tratamiento de 40 Mg ha⁻¹ de estiércol sin acolchado, el cual superó la dosis 100-60 (N-P₂O₅), lo que refleja la bondad del estiércol (Berúmen *et al.*, 2001).

La aplicación de estiércol en dosis altas puede incrementar la salinidad del suelo y reducir el rendimiento. Salazar-Sosa *et al.* (2004) evaluaron dosis de estiércol bovino de 0 a 160 Mg ha⁻¹ en un cultivo de tomate. Se observó que las dosis de 120 y 160 Mg ha⁻¹ incrementaron la conductividad eléctrica (CE) del suelo, a 4.9 dS m⁻¹, comparado con 2.58 dS m⁻¹ en el testigo; la reducción del rendimiento fue de 21% con 160 Mg ha⁻¹, con respecto al testigo en el cultivo de tomate.

Salazar *et al.* (2007) evaluaron cuatro tratamientos (40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹) de estiércol bovino y fertilización química (100-150 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅), en maíz forrajero. Los autores concluyeron que el tratamiento de 120 Mg ha⁻¹ fue el que mejor respondió

para la producción de materia verde con 103.33 Mg ha⁻¹. Los autores concluyen que la aplicación de estiércol afecta en forma inmediata las propiedades químicas del suelo y favorece posteriormente su fertilidad. Aunque es necesario vigilar el aumento en algunos iones que pueden resultar en algunas concentraciones tóxicas para los cultivos.

El estiércol tiene baja concentración de nutrimentos inorgánicos y la tasa de mineralización del N puede alcanzar hasta 50% durante el año de aplicación (Flores-Márquez *et al.*, 2009). En algunos casos los beneficios del estiércol sobre el crecimiento de las plantas son mayores que los que se podrían explicar tan solo con base en su concentración de nutrientes. En general, se acepta que el valor total de estiércol se debe a la aportación de nutrimentos más el aporte de MO. La diferencia importante entre el estiércol y el fertilizante químico es que el estiércol puede tener un efecto benéfico en las propiedades físicas, biológicas (Del Pino *et al.*, 2008) y químicas del suelo (Salazar *et al.*, 2007). Propiedades físicas del suelo tales como la infiltración, la agregación y la densidad aparente se pueden mejorar con la aplicación de estiércol a largo plazo. Los efectos residuales de la aplicación de composta evidencian la acumulación de P, nitratos (NO₃⁻¹) y un incremento de la CE después de cuatro años bajo producción de maíz, sin embargo, el estiércol no muestra significancia para transporte y acumulación de P (Gilley *et al.*, 1999; Gilley y Risee, 2000; Gilley y Eghball, 2002).

Con respecto a las propiedades físicas del suelo, generalmente se incrementa la velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, retención de agua y se reduce densidad aparente. No obstante en ocasiones no es posible demostrar su beneficio en uno o dos ciclos de cultivo, esto es especialmente cierto en suelos tratados con pequeñas o moderadas cantidades de desechos orgánicos (Fortis-Hernández *et al.*, 2009).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto residual de la aplicación continua de estiércol bovino al suelo durante seis años sobre la respuesta de maíz forrajero y en algunas propiedades del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agricultura y Zootecnia (FAZ) de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) en la Comarca Lagunera de Durango.

Su ubicación geográfica es 25° 45' 01.764" Norte y 103° 17' 33.392" Oeste. Según la clasificación de Köppen, modificado por García (1981), el clima es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rangos de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima. La evaporación anual media es de aproximadamente 2396 mm. Las heladas ocurren de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril; mientras que las granizadas ocurren entre mayo y junio. Los suelos nativos son de aluvión, con un contenido de MO pobre (0.9%); sin embargo, estos niveles pueden aumentar a través del tiempo sin aplicar estiércol, por los residuos de cosecha dejados en el suelo y por las raíces, macro y microorganismos muertos a través del tiempo. En el presente trabajo se evaluó la respuesta del maíz forrajero a las aplicaciones de cinco dosis de estiércol aplicado durante seis años consecutivos y comparados con un fertilizante químico (testigo). La aplicación de estiércol se inició a partir de 1998 hasta el 2003, un mes antes de la siembra y siempre del mismo establo y en 2004 se aplicó sólo fertilizante químico. Las características del estiércol aplicado son: pH 7.6; CE 0.63 dS m⁻¹; MO 5.47%, N total 1.12%, amonio 0.1135%, P 0.3535%, calcio 3.38%, magnesio 0.71%, K 3.27%, sodio 0.97 mg kg⁻¹, molibdeno 560 mg kg⁻¹, fierro 12 300 mg kg⁻¹, zinc 198 mg kg⁻¹, cobre 45 mg kg⁻¹, y boro 410 mg kg⁻¹. El estiércol tenía 8% de humedad al momento de aplicarlo.

Los tratamientos fueron dosis de estiércol bovino (0, 40, 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹), fertilizante químico 150-150 (N-P₂O₅; kg ha⁻¹) y un testigo absoluto sin fertilizante ni estiércol. El estiércol se aplicó desde 1998, con la misma dosis por año en las mismas parcelas.

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques al azar con tres repeticiones (Martínez, 1996). Para el análisis estadístico del experimento se utilizó análisis de varianza y la prueba de separación de medias de diferencia mínima significativa (DMS).

La variedad de maíz utilizada para el trabajo fue San Lorenzo, la cual se sembró en húmedo el 5 de mayo de 2004. La densidad de siembra de maíz forrajero fue de 120 000 semillas por hectárea en parcelas experimentales de 8 × 8 m. Las variables evaluadas para la planta fueron: rendimiento de forraje en verde, en una parcela útil de 2 × 0.75 m; porcentaje de materia seca (se calculó con cuatro plantas representativas por parcela, las cuales fueron secadas a 65 °C hasta peso

constante); rendimiento de materia seca; densidad final de plantas, mediante el conteo de plantas individuales en 2 m lineales (se midió con estadal la altura final de planta, en cuatro plantas representativas de cada parcela); área foliar, se determinó en cuatro plantas por parcela, con un medidor de área foliar marca LI-COR modelo LI-3100 (LI-COR Enviromental, Lincoln, NE, USA).

Las variables medidas en suelo fueron: CE en extracto, MO (Walkley y Black, Page *et al.*, 1982), nitratos, analizados mediante colorimetría (Page *et al.*, 1982). Las muestras de suelo se colectaron a una profundidad de 0-15, 15-30 y 30-60 cm, respectivamente. El modelo estadístico utilizado para analizar parámetros de suelo fue bloques al azar con arreglo en franjas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Forraje

Los tratamientos de estiércol afectaron la producción de forraje verde la cual reflejó diferencia estadística ($P \leq 0.05$). Al realizar el análisis de medias se encontró que los rangos de producción de forraje verde van de 33.3 hasta 86.28 Mg ha⁻¹, y son los tratamientos de 40 y 80 Mg ha⁻¹ de estiércol los que producen la mayor cantidad de forraje, con rendimientos de 86.28 y 85.09 Mg ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento menor se presentó en el testigo; 33.30 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1).

Respecto a materia seca, el análisis de varianza mostró diferencia estadística por tratamientos. Al realizar el análisis de medias se encontró que el testigo es el que produce menos materia seca (6.40 Mg ha⁻¹). Las dosis de estiércol que mostraron mayor producción fueron

Cuadro 1. Rendimientos de forraje verde y seco de maíz por efecto de aplicación continua durante seis años de estiércol bovino.

Estiércol bovino	Forraje verde	Materia seca
Mg ha ⁻¹	- - - - - Mg ha ⁻¹	- - - - -
0	33.30 c	6.40 c
40	86.28 a	34.83 a
80	85.09 a	34.81 a
120	75.84 b	26.40 b
160	77.11 b	30.08 b
150-150 (N-P ₂ O ₅ ; kg ha ⁻¹)	77.22 b	28.96 b
CV (%)	9.31	18.23
$P \leq F$	0.023	0.038

CV = coeficiente de variación.

40 y 80 Mg ha⁻¹, con 34.83 Mg ha⁻¹ y 34.81, respectivamente (Cuadro 1). Estos rendimientos son superiores a la media regional y a los reportados por Reta *et al.* (2000), quienes obtuvieron 13.4 Mg ha⁻¹ en Torreón y 20.5 Mg ha⁻¹ en Pabellón, Aguascalientes.

Los tratamientos que produjeron más forraje son aquellos que tuvieron estiércol; lo cual se debe al efecto residual del estiércol ya que durante seis años anteriores se adicionó al suelo éstas mismas cantidades en los mismos sitios experimentales. Por otra parte, el tratamiento de fertilizante químico también quedó por abajo de los rendimientos medios obtenidos con las dosis más bajas de aplicación de estiércol; resultados similares se encontraron por Salazar *et al.* (2003). Eghball *et al.* (2004) encontraron un incremento de 83% en la producción de grano de maíz, con N residual proveniente de estiércol y composta. Cueto-Wong *et al.* (2003) en ballico (*Lolium multiflorum*) anual encontraron que el rendimiento se incrementó al aumentar la dosis de estiércol o fertilizante nitrogenado; la mejor respuesta la encontró con la dosis más alta de estiércol de 47 Mg ha⁻¹.

Supervivencia de Plantas, Altura y Área Foliar

El número de plantas por hectárea fue en promedio 108 000 (Cuadro 2). Los tratamientos de aplicación de estiércol mostraron diferencias significativas para densidad de plantas, altura y área foliar con las mismas tendencias que se presentaron para el rendimiento (Cuadro 2). Al respecto, la variabilidad en la supervivencia de las plantas forrajeras depende de varios factores como la luz, los nutrientes, el vigor de la propia

Cuadro 2. Supervivencia de planta, altura y área foliar de plantas de maíz variedad San Lorenzo por efecto de aplicación de estiércol durante seis años.

Estiércol bovino	Supervivencia	Altura final	Área foliar
Mg ha ⁻¹	Plantas ha ⁻¹	cm	cm ²
0	95 003 c	251.1 c	69.11 c
40	113 000 a	262.8 a	76.38 a
80	113 333 a	262.3 a	75.66 a
120	112 221 a	258.8 ab	71.63 b
160	109 999 ab	258.3 ab	73.22 a
150-150 (kg ha ⁻¹ ; N-P ₂ O ₅)	104 444 b	255.1 b	71.68 b
CV (%)	26.71	6.25	16.82
Promedio	108 000	258.1	71.68

CV = coeficiente de variación, $P \leq 0.05$, en las tres variables medidas.

planta y la exposición al viento (Robles, 1990). En este sentido, la variación en la aportación de nutrientes por los diferentes tratamientos fue suficiente para que se reflejara en la densidad de plantas. Al igual que para los resultados de rendimiento, la menor densidad de población fue observada en el testigo, mientras que la mayor densidad de población fue presentada por los tratamientos de 40 y 80 Mg ha⁻¹ de estiércol. Reta-Sánchez *et al.* (2002) obtuvieron resultados similares en densidad de plantas con tratamientos del mismo nivel en el cultivo de maíz. Para las variables altura y área foliar los resultados presentaron las mismas tendencias con los valores más altos en los tratamientos de estiércol de 40 y 80 Mg ha⁻¹ y el valor menor en el testigo. Las diferencias en las aportaciones de nutrimentos se reflejaron en la mejor capacidad de aprovechamiento de la luz (Guevara-Escobar *et al.*, 2005). Montemayor-Trejo *et al.* (2007) reportaron resultados similares respecto al área foliar. En el presente estudio, la altura y el área foliar fueron indicadores capaces de establecer diferencias entre los tratamientos de abonos orgánicos. En relación con lo anterior, se ha demostrado que el rendimiento del maíz depende en gran medida del balance nutrimental, principalmente N y P (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2006).

Materia Orgánica en el Suelo

La concentración de MO en el suelo antes de la siembra en el estrato de 0 a 15 cm de profundidad fue 0.99% en el testigo y se incrementó a 4.76% con la dosis mayor de estiércol (Cuadro 3), lo anterior debido al estiércol y a los residuos de cosecha, raíces, micro y macro organismos que quedan sin vida después de la cosecha y que pasan a formar parte de la MO total del suelo.

La concentración MO en los tratamientos testigo y con fertilizante químico fue de 0.9 y 1.52%, respectivamente, los cuales son valores comunes en suelos de zonas áridas (Castellanos-Ramos, 1986; Fitzpatrick, 1996). Castellanos-Ramos (1982) reportó promedios de MO que varían de 1.3 a 2.3% en suelos similares a los del presente estudio, en la misma región con tratamientos de estiércol similares a los del presente trabajo pero evaluados solo durante dos años, mientras que en el presente trabajo se evaluó seis años de tratamientos de estiércol. Salazar *et al.* (2003b, 2007) también encontraron que la aplicación de estiércol al suelo en dosis de 40 a 160 Mg ha⁻¹ incrementa la MO

Cuadro 3. Materia orgánica (MO), nitratos (NO₃) y conductividad eléctrica (CE) a 15, 30 y 60 cm de profundidad después de seis años de aplicación de estiércol.

Estiércol	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃	CE	MO	NO ₃	CE
	Profundidad (cm)								
	0 - 15			15 - 30			30 - 60		
Mg ha ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	dS m ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	dS m ⁻¹
0	0.99c	06.0c	1.79b	0.68c	05.2c	1.97b	0.37c	0.95c	1.96b
40	2.79b	23.7b	2.07b	2.79c	29.7b	1.93b	1.51b	14.0b	2.51b
80	4.38a	42.7b	3.15a	4.13b	33.0b	3.75a	1.58b	29.7a	3.61a
120	4.75a	71.5a	3.82a	4.27b	32.0b	2.66b	2.24a	31.0a	3.39a
160	4.76a	75.5a	4.11a	5.24a	56.5a	4.36a	2.37a	30.5a	3.39a
FQ	1.55b	13.2b	1.55b	1.72c	7.2c	1.27c	1.37b	7.2b	1.46c
DMS (0.05)	1.52	28.81	1.61	0.82	13.3	1.42	0.55	10.27	0.6
CV	23.65	42.66	34.29	13.64	25.27	29.51	19.21	27.76	12.2

FQ = fertilizante químico (150-150); CV = coeficiente de variación; DMS = diferencia mínima significativa.

después de seis años de aplicación, por arriba de 5%, en suelos de la misma región del presente estudio. Al realizar un análisis de regresión con los datos del Cuadro 3 a la profundidad de 0-15 cm se obtuvo la ecuación: MO = 0.0211 (Mg ha⁻¹ de estiércol) + 2.45, lo que significa que la MO del suelo se incrementó en 2.11% por cada 100 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado (Figura 1). Esto refleja el impacto de la aplicación de estiércol a través del tiempo y desde luego que justifica el hecho de no

aplicación en este año para observar el efecto residual del estiércol. Al final de ciclo, los valores promedio encontrados en los tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ de estiércol, para las profundidades de 0-15 y 15-30 cm fueron superiores a 3.5% (Cuadro 3, Figura 2). Resultados similares se reportaron por Castellanos-Ramos (1986), quien señala que la adición de abonos orgánicos al suelo afecta positivamente la concentración de MO y otros elementos. Eghball *et al.* (2004)

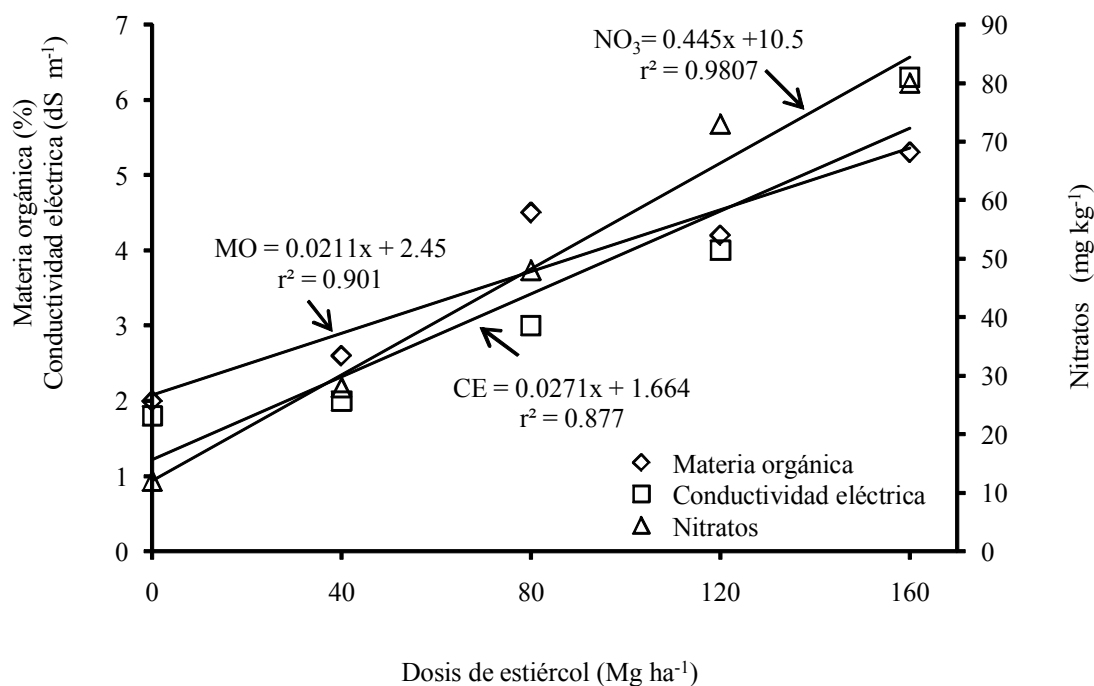


Figura 1. Cambios en materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE) y nitrato (NO₃), en función de la dosis de estiércol, a profundidad de 0-30 cm.

observaron un incremento de 3.5% de MO en suelos con N residual proveniente de estiércol y composta.

Los resultados de MO observados en el tratamiento de 160 Mg ha⁻¹ a la profundidad de 0 a 30 cm reflejan la capacidad del estiércol para incrementar la MO de un suelo en zonas áridas. La importancia del incremento de MO en el suelo se hace evidente en este estudio, ya que la MO resulta fundamental en la búsqueda de la sustentabilidad en la agricultura (Johnston *et al.*, 2009) y su presencia adecuada en el suelo mejora la capacidad de amortiguamiento, enriquece la capacidad de intercambio catiónico, mejora la estructura del suelo evitando la erosión y permite el desarrollo de la micro y macro-fauna benéficas del suelo (Aslantas *et al.*, 2007). Los resultados encontrados en el presente estudio tienen similitud en su incremento de MO con los publicados por Salazar *et al.* (2003a). Castellanos-Ramos (1986) y Fitzpatrick (1996) señalan que la mayoría de los suelos contienen de 1.6% de MO, pero en suelos áridos, el porcentaje puede bajar a menos de 1.0%. Castellanos-Ramos (1982) menciona que el 50% del estiércol

es biodegradado en el primer año, lo cual provee MO en el suelo en predios donde se han aplicado los tratamientos de estiércol por años consecutivos.

Concentración de Nitratos en Suelo

Al inicio del ciclo se encontró diferencia estadística en la concentración de nitratos en el suelo para los tratamientos de estiércol (Cuadro 3). En el estrato 0 a 30 cm de profundidad en el tratamiento testigo se encontraron valores de nitratos promedio de 6.01 mg kg⁻¹ y hasta 75.5 mg kg⁻¹ para el tratamiento de 160 Mg ha⁻¹ de estiércol. De acuerdo con el análisis de regresión, el contenido de nitratos aumentó 44.5 mg kg⁻¹ por cada 100 Mg ha⁻¹ de estiércol incorporado (Figura 1). Con base en esto se tomó la decisión de no aplicar estiércol durante el año de evaluación: 2004, es decir, no se aplicó estiércol y se observó el efecto residual ya que más de 30 mg kg⁻¹ de NO₃ al inicio del ciclo son adecuados para una buena fertilización nitrogenada en el suelo. Sin embargo, no es la aportación final del ciclo, ya

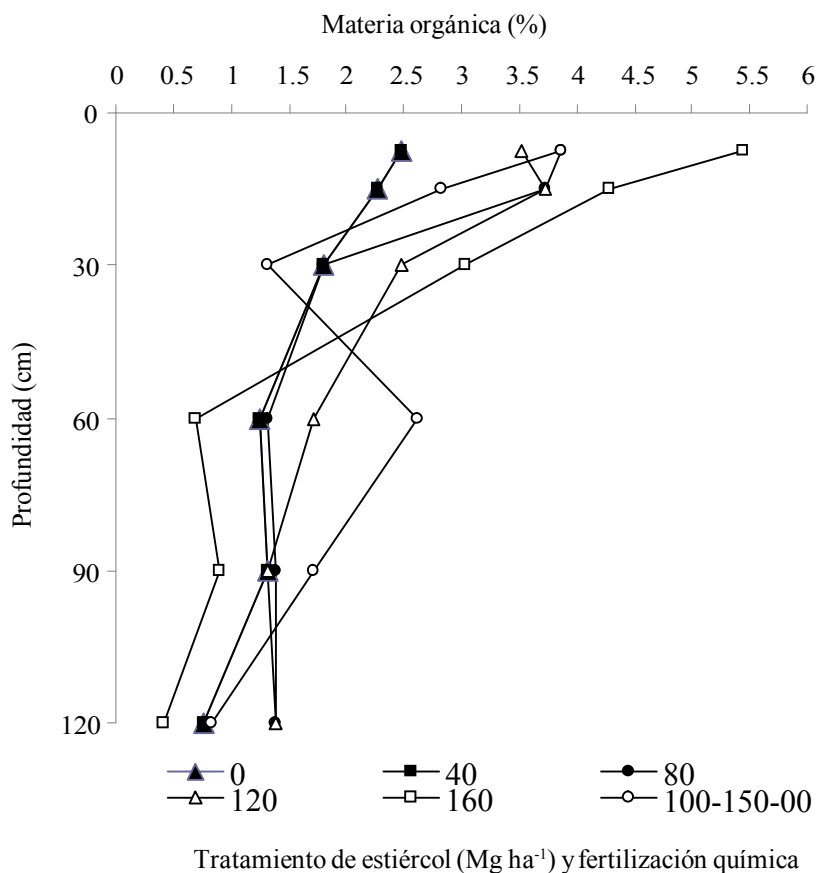


Figura 2. Concentración de materia orgánica en el perfil del suelo por tratamientos de estiércol y fertilización química a profundidades de 0 a 120 cm.

que el suelo todavía contiene estiércol, el cual se sigue biodegradando. Salazar *et al.* (2007) encontraron que los nitratos se incrementan en más de 60 mg kg^{-1} en tratamientos de estiércol de más de 80 Mg ha^{-1} aplicadas al suelo. Este resultado refleja los beneficios del estiércol con una mayor mineralización, evidenciado por una mayor cantidad de NO_3 en el suelo a medida que se incrementó la dosis de aplicación de estiércol. Resultados similares reportó Murillo-Amador *et al.* (2005) con el uso de abonos orgánicos en la producción de nopal verdura. Salazar *et al.* (2007) encontró un efecto significativo al aplicar estiércol en más de 40 Mg ha^{-1} , incrementándose todos los macronutrientes necesarios para el desarrollo y producción de la planta.

El tratamiento de 40 Mg ha^{-1} de estiércol presentó en promedio 23.7 mg kg^{-1} para la profundidad de 0-15 cm y 29.7 para la profundidad de 15-30 cm. De la profundidad de 30 cm hacia abajo tiende a disminuir la concentración con valores que están a menos

de 15 mg kg^{-1} (Figura 3). La mayor concentración de nitratos se encontró en los primeros estratos porque es ahí donde las condiciones de temperatura, aeración, sustrato y humedad favorecen la actividad microbiana y enzimática. Salazar *et al.* (2003a) investigaron sobre la mineralización del N en el suelo en diferentes sistemas de labranza y encontraron que la máxima mineralización fue detectada en los primeros 7.5 cm de profundidad dada una mejor aeración, humedad y temperatura del suelo por lo que concluyeron que en esta profundidad se presentó una mejor actividad enzimática.

Para el tratamiento de 80 Mg ha^{-1} de estiércol al inicio del ciclo agrícola la concentración promedio fue de 42.7 mg kg^{-1} para la profundidad de 0-15 cm (Cuadro 3, Figura 3). Al respecto, en un experimento con olivo y aplicación de estiércol, Walker y Bernal (2008) encontraron que la MO elevó significativamente la concentración de NO_3 , debido al alto contenido de N-orgánico en dicho estiércol, ya que el amonio

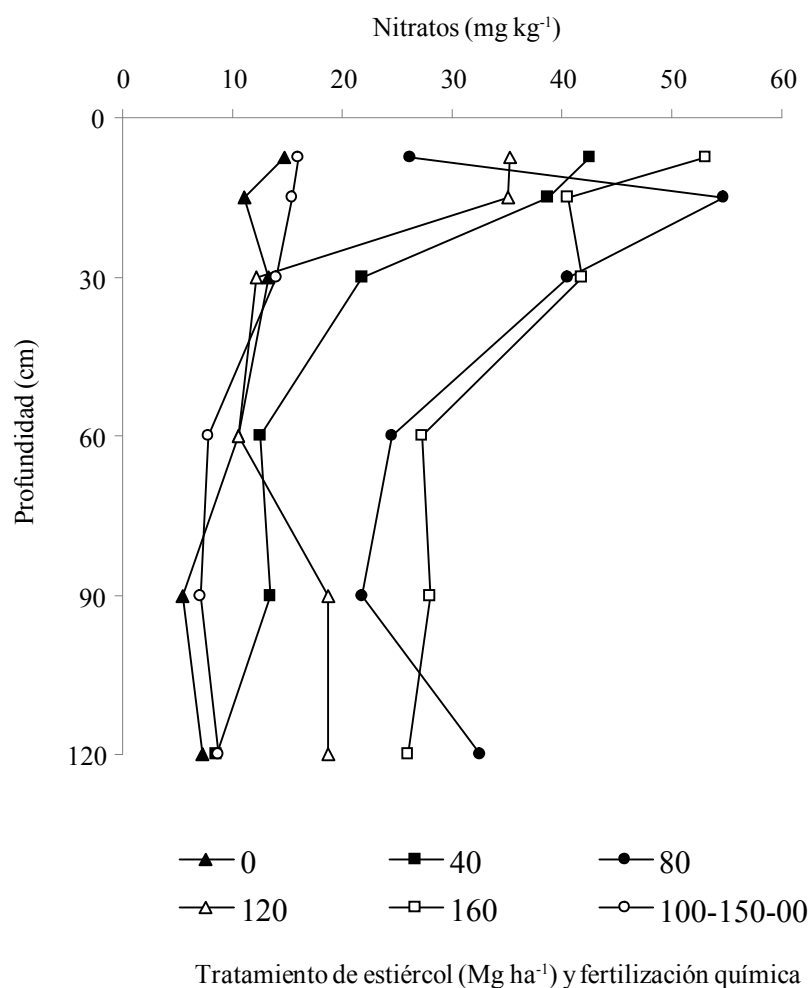


Figura 3. Concentración de nitratos en el suelo por tratamiento de estiércol y fertilización química a profundidades de 0 a 120 cm.

producido de este N-orgánico es fácilmente nitrificado después de su aplicación en el suelo. Hirzel *et al.* (2004) utilizaron cama de estiércol de pollo de engorda (pollinaza + viruta) con 2% de N y obtuvieron 49 mg kg⁻¹ de NO₃ en dos años de estudio. A respecto, los primeros años de aplicación de estiércol la mineralización no ocurre con tanta eficiencia, ya que la relación C/N del estiércol fluctúa alrededor de 30 a 38 y su impacto en disponibilidad de N depende, además de esta relación, del tipo de suelo y manejo del mismo, lo que propicia una inmovilización del N (Uratani *et al.*, 2004). La mineralización total solo se da con más eficiencia en abonos con relación C/N no mayor a 20 (Hernández-Mendoza *et al.*, 2007). El NO₃ es un aceptor de electrones en la desnitrificación, según Saleh-Lakha *et al.* (2009) y aun así los abonos de origen animal sólo se mineralizan en menos del 70% el primer año (Probert *et al.*, 2005).

Para el tratamiento de 120 Mg ha⁻¹ de estiércol al inicio del ciclo la concentración promedio de NO₃ de 0 a 15 cm de profundidad fue de 71.5 mg kg⁻¹. Esta concentración de NO₃ indica una alta actividad microbológica, principalmente en los estratos superiores. Resultados similares fueron encontrados por Salazar *et al.* (2007, 2009). Lo anterior demuestra una vez más la bondad de la aplicación del estiércol y su impacto en una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo.

Es claro que en todos los tratamientos las máximas concentraciones encontradas estuvieron en la primera capa de suelo y las más bajas en la última capa analizada, esto es debido principalmente a la lixiviación del nitrato por ser un ion soluble y no a la mineralización del mismo a estas profundidades, porque las bacterias amonificadoras y nitrificadoras no tienen las condiciones de aeración y temperatura adecuadas para su actividad enzimática, ya que necesitan de temperaturas que fluctúan 25 a 35 °C y una aeración de 20 a 21% para una buena actividad y a estas profundidades se han encontrado temperaturas máximas en esta región de 19 °C y niveles de aeración de menos de 17% (Dinauer *et al.*, 1982; Misle y Noreno, 2001).

Conductividad Eléctrica

Al inicio del ciclo agrícola se observó que la aplicación de estiércol incrementó la CE en 2.71 dS m⁻¹ por cada 100 Mg ha⁻¹ (Figura 1). Las concentraciones más altas de sales se encontraron en los mismos tratamientos de 80, 120 y 160 Mg ha⁻¹ que presentaron

también los valores más altos en MO y nitratos. También se observó que la CE fue diferente estadísticamente entre las profundidades del suelo, siendo más altos los valores para la profundidad más cercana a la superficie (Cuadro 3, Figura 4). Esto puede deberse a la poca lixiviación de sales a la primera profundidad por el tipo de riego por goteo. Valores altos de CE sugieren que el uso y manejo del estiércol utilizado, debe hacerse atendiendo un seguimiento de salinidad mediante el análisis de suelo, ya que las aplicaciones de estiércol en forma indiscriminada pueden incrementar problemas de salinidad, llevando el suelo a pérdidas estructurales o a la inhibición del crecimiento vegetal (Smith *et al.*, 2001). Eghball *et al.* (2004) concluyen que en predios con estiércol y composta residual, la CE se eleva por efecto de la descomposición de la MO residual, la cual incrementa la concentración de Ca, Mg y K en el suelo.

pH

El pH fluctuó entre 7.5 y 8.6, estos valores fueron similares en los diferentes perfiles del suelo. El análisis de varianza no mostró ninguna diferencia estadística significativa. Estas concentraciones de iones H⁺ son comunes en suelos calcáreos, típicos de la región (Salazar *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

Después de seis años de aplicación continua de estiércol, los tratamientos de aplicación de 40 y 80 Mg ha⁻¹ permitieron los mayores rendimientos de forraje verde con 86 y 85 Mg ha⁻¹, lo que correspondió a 34 y 26 Mg ha⁻¹ de materia seca, respectivamente. Por cada 100 Mg ha⁻¹ de estiércol aplicado, la materia orgánica (MO) en el suelo se incrementó 2.11%; el NO₃ aumentó 44.5 mg kg⁻¹ y la conductividad eléctrica (CE) se elevó 2.71 dS m⁻¹. El haber adicionado estiércol durante seis años consecutivos ocasionó que la CE rebasara los 4 dS m⁻¹, valor considerado para suelos no salinos. Al descansar el suelo al menos un ciclo después de seis años, estas concentraciones tienden a disminuir. Después de un período de seis años de aplicación continua de estiércol bovino, quedó suficiente nitrógeno residual para producir el siguiente ciclo agrícola sin necesidad de aplicar ningún fertilizante químico y sin que disminuyera la producción de forraje.

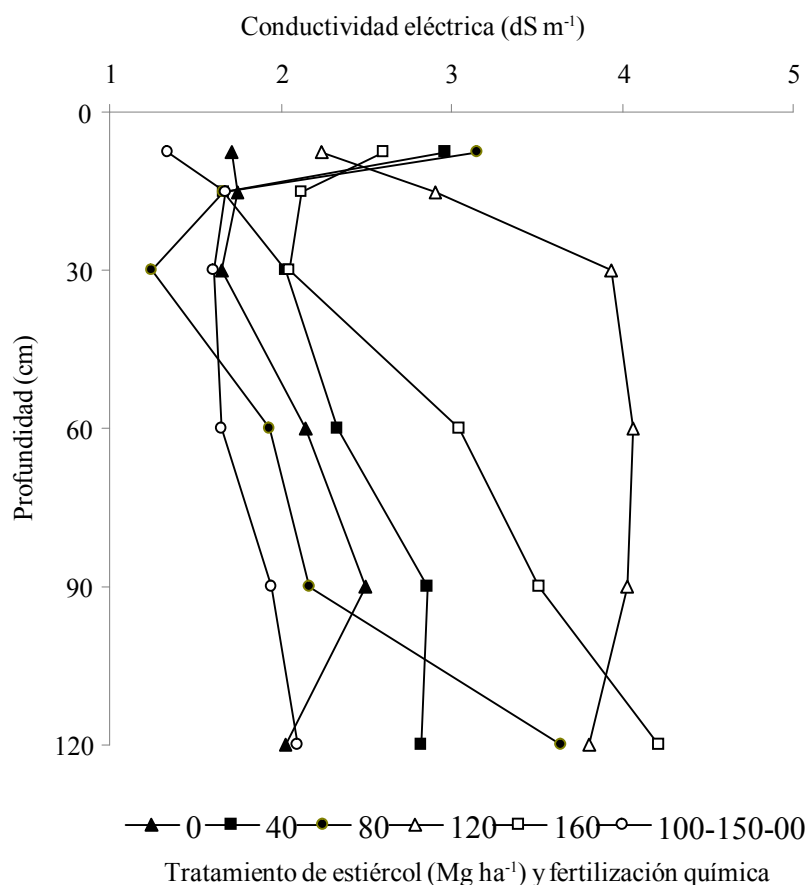


Figura 4. Conductividad eléctrica en el suelo en los tratamientos de estiércol a profundidades de 0 a 120 cm.

LITERATURA CITADA

- Aslantas, R., R. Cakmakci, and F. Sahin. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Sci. Hortic.* 111: 371-377.
- Berúmen-Padilla, S., J. L. Monarrez-Rodríguez y R. Figueroa-Viramontes. 2001. Efecto del abono orgánico en el desarrollo y producción del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de acolchado plástico y fertirrigación. *Agrofaz* 1: 16-24.
- Castellanos-Ramos, J. Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. *Seminarios Técnicos Vol. 7*. INIFAP, Matamoros, Coahuila, México.
- Castellanos-Ramos, J. Z. 1986. Evaluación del estiércol de bovino y gallinaza como fuente de fósforo en el cultivo de Alfalfa. *Agric. Téc. Méx.* 12: 247-258.
- Cueto-Wong, J. A., H. M. Quiroga-Garza y C. T. Becerra-Morales. 2003. Efecto del nitrógeno disponible sobre el desarrollo del ballico anual. I. Producción, calidad de forraje y acumulación de nitratos. *Terra* 21: 285-295.
- Del Pino, A., C. Repetto, C. Mori y C. Perdomo. 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26: 43-52.
- Dinauer, R. C., K. E. Gates, and M. Stelly, 1982. Nitrogen in agricultural soil. *Agronomy No. 22*. ASA, Madison, WI, USA.
- Eghball, B., D. Ginting, and J. E. Gilley. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agron. J.* 96: 442-447.
- Fitzpatrick, E. A. 1996. Introducción a la ciencia de los suelos. Ed. Trillas. México, D. F.
- Flores-Márgez, J. P., B. Corral-Díaz, U. Figueroa-Viramontes, L. Mauricio-Rivera y V. Sotomayor-Villezas. 2009. Nitrógeno mineralizable de estiércol bovino lechero en suelos agrícolas del norte de México. pp. 152-172. In: I. Orona C., E. Salazar S., M. Fortis H. (eds.). *Agricultura orgánica*. FAZ-UJED. SMCS. Gómez Palacio, Durango, México.
- Fortis-Hernández, M., J. A. Leos-Rodríguez, P. Preciado-Rangel, I. Orona-Castillo, J. A. García-Salazar, J. García-Hernández, J. A. Orozco-Vidal. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Terra Latinoamericana* 27: 329-336.
- Gallegos-Robles, M. A. y J. D. López-Martínez. 2001. Fertilizantes orgánicos y su efecto sobre el rendimiento y control de plagas en algodón transgénico. *Agrofaz* 1: 25-31.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Offset Larrios. México, D. F.
- Gilley, J. E., B. Eghball, J. M. Blumenthal, and D. D. Baltensperger. 1999. Runoff and erosion from interrill areas as affected by the application of manure. *Trans. ASAE* 42: 975-980.

- Gilley, J. E. and L. M. Risse. 2000. Runoff and soil loss as affected by the application of manure. *Trans. ASAE*. 43: 1583-1588.
- Gilley, J. E. and B. Eghball. 2002. Residual effects of compost and fertilizer applications on nutrients in runoff. *Trans. ASAE* 45: 1905-1910.
- Guevara-Escobar, A., G. Bárcenas-Huante, F. R. Salazar-Martínez, E. González-Sosa y H. Suzán-Azpir. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación con goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39: 431-439.
- Hernández-Mendoza, T. M., E. Salcedo-Pérez, G. Arévalo-Galarza, A. Galvis Spinola. 2007. Evaluación de la lignina como indicador de la capacidad de aporte de nitrógeno de residuos orgánicos. *Rev. Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 5-13.
- Hirzel, J., N. Rodríguez y E. Zagal. 2004. Efecto de diferentes dosis de fertilización inorgánica con N, P, K y fuente orgánica (estiércol) sobre la producción de maíz y la fertilidad del suelo. *Agric. Téc.* 64: 365-374.
- Johnston, A. E., P. R. Poulton, K. Coleman, and D. L. Sparks. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Adv. Agron.* 101: 1-57.
- Magallanes-Quintanar, R., R. D. Valdez-Cepeda, E. Olivares, O. Pérez, J. L. García-Hernández, and J. D. López-Martínez. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. *J. Plant Nutr.* 29: 2019-2033.
- Martínez G., A. 1996. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Ed. Trillas. México, D. F.
- Misle, E. y A. Noreno. 2001. Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas plásticas, efecto de diferentes tipos de lámina. *Agric. Téc. Chile* 61: 13-19.
- Montemayor-Trejo, J. A., J. Olague-Ramírez, M. Fortis-Hernández, R. Sam-Bravo, J. A. Leos-Rodríguez, E. Salazar-Sosa, J. Castruita-López, J. C. Rodríguez-Ríos y J. A. Chavarría-Galicia. 2007. Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. *Terra Latinoamericana* 25: 163-168.
- Murillo-Amador, B., A. Flores-Hernández, J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, N. Y. Avila-Serrano, E. Troyo-Diéguez, and F. H. Ruiz. 2005. Soil amendment with organic products increases the production of prickly pear cactus as a green vegetable (nopalitos). *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 7: 97-109.
- Ortega B., R. y R. Mardonez O. 2005. Variabilidad espacial de la mineralización de nitrógeno en un suelo volcánico de la provincia de Ñuble. VIII Región, Chile. *Agric. Téc. Chile* 65: 221-231.
- Page, A. L., R. H. Miller, and D. R. Keeney. 1982. Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. *Agronomy* No. 9, Part 2. ASA and SSSA. Madison, WI, USA.
- Probert, M. E., J.R. Dolve, S. K. Kimani, and J. P. Dimes. 2005. Modeling nitrogen mineralization from manure: representing quality aspects by varying C/N ration of sub-pools. *Soil Biol. Biochem.* 37: 279-287.
- Reta-Sánchez, D. G., A. Gaytan-Mascorro y J. S. Carrillo-Amaya. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 37-48.
- Reta-Sánchez, D. G., J. S. Carrillo-Amaya, A. Gaytán-Mascorro y J. A. Cueto-Wong. 2002. Guía para cultivar maíz forrajero en surcos estrechos. CELALA-INIFAP. Matamoros, Coahuila, México.
- Robles, S. R. 1990. Maíz. Producción de Granos y Forrajes. Limusa. México, D. F.
- Salazar-Sosa, E., C. Vázquez-Vázquez, H. I. Trejo-Escareño y O. Rivera-Olivas. 2003. Aplicación, manejo y descomposición de estiércol de ganado bovino. pp. 18-36. *In: UJED, SMCS, A. C. y COCYTED (eds.). Agricultura Orgánica.* Gómez Palacio, Durango, México.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández., J. A. Leos-Rodríguez, J. A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Vázquez. 2003a. Mineralización de nitrógeno y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 561-567.
- Salazar-Sosa, E., A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J. A. Leos-Rodríguez, J. A. Cueto-Wong, C. Vázquez-Vázquez y J. J. Peña-Cabriales. 2003b. Mineralización de nitrógeno y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra* 21: 569-575.
- Salazar-Sosa, E., C. Vázquez-Vázquez, J. A. Leos-Rodríguez, M. Fortis-Hernández, J. A. Montemayor-Trejo, R. Figueroa-Viramontes, J. D. López-Martínez, 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo riego sub-superficial, *Phyton Rev. Inter. Bot. Exp.* 73: 259-273.
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *Phyton Rev. Int. Bot. Exp.* 76: 169-185.
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez, J. D. López-Martínez, M. Fortis-Hernández, R. Zúñiga-Tarango y J. P. Amado-Álvarez. 2009. Distribución de nitrógeno disponible en suelo abonado con estiércol bovino en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 27: 373-382.
- Saleh-Lakha, S, K. E. Shannon, S. L. Henderson, B. J. Zebarth, D. L. Burton, C. Goyer, and J. T. Trevors, 2009. Effect of nitrate and acetylene on *nirS*, *cnorB*, and *nosZ* expression and denitrification activity in *Pseudomonas mandelii*. *Applied Environ. Microbiol.* 75: 5082-5087.
- Smith, D. C., V. Beharee, and J. C. Hughes. 2001. The effects of composts produced by a simple composting procedure on the yields of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. var. *flavescens*) and common bean (*Phaseolus vulgaris* var. *nanus*). *Sci. Hortic.* 91: 393-406.
- Uratani, A., H. Daimon, M. Ohe, J. Harada, Y. Nakayama, and H. Ohdam. 2004. Ecophysiological traits of field-grown *Crotalaria incana* and *C. pallida* as green manure. *Plant Product. Sci.* 7: 449-455.
- Walker, D. J. and M. P. Bernal. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a high saline soil. *Bioresource Technol.* 99: 396-403.