

ESTIÉRCOL DE BOVINO LECHERO SOBRE EL RENDIMIENTO Y RECUPERACIÓN APARENTE DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO

Dairy Manure on Yield and Apparent Nitrogen Recovery in Silage Corn

Uriel Figueroa-Viramontes^{1‡}, José A. Cueto-Wong², Jorge A. Delgado³,
Gregorio Núñez-Hernández¹, David G. Reta-Sánchez¹, Héctor M. Quiroga-Garza¹,
Rodolfo Faz-Contreras¹ y José L. Márquez-Rojas⁴

RESUMEN

El uso más común del estiércol de bovino en la Comarca Lagunera, localizada en los estados de Coahuila y Durango, México, es su incorporación al suelo para la producción de forrajes, dentro de la misma explotación lechera. Es importante aplicar el estiércol en dosis acordes a su contenido de nitrógeno (N) disponible, para reducir gastos en fertilizantes y los riesgos de contaminación del agua subterránea por lixiviación de nitratos. Los objetivos del estudio fueron evaluar el uso de estiércol o compost para sustituir total o parcialmente el fertilizante nitrogenado en maíz forrajero y estimar la eficiencia del N, mediante el índice de recuperación aparente de N (RAN). De 2001 a 2003 se evaluaron tratamientos con estiércol, fertilizante químico y la combinación de estiércol o compost + fertilizante. Las dosis de estiércol y fertilizante se estimaron mediante un balance de N entre el requerimiento del cultivo, el N del suelo y el N disponible del abono orgánico. La media de rendimiento de forraje con el uso estiércol fue 18.5 Mg ha⁻¹, comparado con 15.8 Mg ha⁻¹ obtenido con fertilizante solo. La recuperación aparente de N total aplicado (RAN_{tot}) tuvo valores máximos de 41% con el uso de fertilizante químico y 15% con estiércol. La RAN, con base en el N disponible de los abonos orgánicos (RAN_{disp}), no mostró diferencias significativas entre

tratamientos. Los resultados indican que es posible sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico por estiércol o compost, en el cultivo de maíz forrajero, y obtener igual o mayor rendimiento. Además, al estimar las dosis de aplicación de estiércol con el método de balance de N, se reducirían las cantidades de estiércol que en promedio se aplican por hectárea en esta región y se promovería su uso sustentable en sistemas intensivos de producción de leche.

Palabras clave: *Zea mays*, extracción de nitrógeno, eficiencia de nitrógeno, balance de nitrógeno.

SUMMARY

The most common use of dairy manure in the Comarca Lagunera region, located in the states of Coahuila and Durango, Mexico, is as a soil amendment in forage crop production for use on the same dairy farm. It is important to apply manure at rates in accordance with its nitrogen (N) content to reduce fertilizer expenses and prevent risk of groundwater contamination from nitrate leaching. The objectives of the present study were to evaluate manure or compost to partially or totally substitute N fertilizer in silage corn, as well as to estimate the N efficiency by means of the apparent nitrogen recovery (ANR) index. From 2001 to 2003 manure, chemical fertilizer and combinations of manure or compost + fertilizer treatments were evaluated. Manure and fertilizer rates were estimated based on N balance among crop requirement, residual soil N and manure or compost available N. Mean forage yield with manure was 18.5 Mg ha⁻¹, compared to 15.8 Mg ha⁻¹ obtained with fertilizer alone. Apparent recovery of total N (ANR_{tot}), had maximum values of 41% obtained with chemical fertilizer and 15% with manure. Apparent recovery of available N (ANR_{av}) showed no significant differences between treatments. The results indicate that it is possible to substitute all or part of the chemical fertilizers by manure or compost in silage corn, obtaining

¹ Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. Col. Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México.

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

² Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP. Margen derecha canal Sacramento km 6.5. 35150 Gómez Palacio, Durango, México.

³ Soil Plant Nutrient Research Unit, USDA-ARS. Fort Collins, CO, USA.

⁴ Estudiante de posgrado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL. Periférico y carretera a Santa Fe s/n. 27059 Torreón, Coahuila, México.

the same or higher yield. Moreover, by estimating manure rates with the N balance method, the average amount of manure applied per hectare in this region would be reduced, and the sustainable use of manure in intensive milk production systems would be promoted.

Index words: *Zea mays*, nitrogen extraction, nitrogen efficiency, nitrogen balance.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera, región situada en los Estados de Coahuila y Durango, México, es la principal productora de leche en el país, con más de 400 mil cabezas de ganado lechero. Para el abastecimiento de forrajes, en el 2008 se sembraron poco más de 100 000 ha con cultivos forrajeros, lo que representó el 73% de la superficie agrícola total en esta región. El maíz para ensilaje ocupó cerca de 30 000 ha en ese año y fue el segundo cultivo en superficie sembrada después de la alfalfa (SAGARPA, 2009). En esta región son comunes las explotaciones lecheras con áreas agrícolas para la producción de forrajes, en las cuales es importante planificar la fertilización de los cultivos, ya que el estiércol que se genera en el establo se utiliza para abonar el suelo y mejorar sus propiedades, pero también es una fuente fertilizante que aporta cantidades considerables de nitrógeno (N) y otros nutrimentos esenciales para los cultivos (Figueroa-Viramontes y Cueto-Wong, 2003).

El bovino lechero tiene una baja eficiencia en el uso de nutrimentos, principalmente de N. Van Horn *et al.* (1994), señalan que la eficiencia de uso de N por parte del bovino lechero es de 30%, valor que representa en mayor parte la proteína de la leche. El 70% restante es excretado; si se asume que todas las excretas se aplicarán al suelo para la producción de cultivos, el 38% de N se pierde por diferentes procesos (lixiviación, volatilización y desnitrificación, entre otros) y sólo el 32% es recuperado por los cultivos. De acuerdo con estimaciones recientes para la Comarca Lagunera (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2009), anualmente se generan 925 000 toneladas de estiércol en base a materia seca (MS), con una aportación promedio de N de 1.6% con base a peso seco o 14 800 Mg año⁻¹. Un estiércol con esta concentración promedio, aplicado a una dosis baja de 60 Mg ha⁻¹, aporta 260 kg ha⁻¹ de N disponible al cultivo, asumiéndose un 45% de mineralización de N (NRCS, 1992) y 60% de eficiencia de uso de N mineralizado. Sin embargo, la práctica común

en la Comarca Lagunera es incorporar dosis de 100 a más de 200 Mg ha⁻¹ de estiércol al suelo y, adicionalmente, aplicar fertilizantes químicos sin criterios técnicos basados en la demanda de N del cultivo y suministro del suelo (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2009; Castellanos-Ramos *et al.*, 1996). La práctica anterior representa un riesgo de contaminación del agua subterránea por lixiviación de nitratos, como se ha documentado en estudios locales recientes (Cueto-Wong *et al.*, 2005; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2006).

Estudios previos (Ferguson *et al.*, 2005; Márquez-Rojas *et al.*, 2006; Salazar-Sosa *et al.*, 2009) han demostrado que es posible aportar todo el requerimiento de N de cultivos con la aplicación de estiércol, lográndose rendimientos similares o mayores que con el uso de fertilizantes. En un estudio de 10 años con maíz forrajero, Ferguson *et al.* (2005) obtuvieron rendimientos de materia seca (MS) de 17.3 Mg ha⁻¹ al utilizar estiércol para aportar el N que requiere el cultivo, comparado con 16 Mg ha⁻¹ cuando se utilizó fertilizante inorgánico. Con sorgo forrajero, Márquez-Rojas *et al.* (2006) registraron rendimientos de 22.1 Mg ha⁻¹ de MS con el uso de estiércol, y de 20.2 Mg ha⁻¹ al utilizar fertilizante químico. Aunque la diferencia en rendimiento no fue significativa, estos resultados comprueban que es factible sustituir el fertilizante por estiércol y ahorrar en costos de producción. En ambos estudios, la dosis de estiércol se estimó con base en la concentración de N y a la tasa de mineralización, para proveer el requerimiento de N del cultivo.

Para evaluar la utilización de N del estiércol por los cultivos se han utilizado diferentes índices; uno de los más utilizados es el de recuperación aparente de nitrógeno (RAN), el cual se calcula mediante la fórmula (Muñoz *et al.*, 2004):

$$\text{RAN} = [(\text{Nrem}_{\text{Ti}} - \text{Nrem}_{\text{To}}) / \text{N}_{\text{ap}}] \times 100 \quad (1)$$

donde:

Nrem_{Ti} = N removido por el cultivo en el tratamiento con N, proveniente de estiércol o fertilizante.

Nrem_{To} = N removido por el cultivo en el tratamiento control sin aplicación de estiércol ni fertilizante.

N_{ap} = el N total aplicado en forma de fertilizante o estiércol; las unidades son en kg ha⁻¹, excepto RAN que se expresa en porcentaje.

La RAN representa el porcentaje de N aplicado, como fertilizante o como estiércol, que es extraído en la parte aérea o cosechada del cultivo y se ha utilizado

como un índice de disponibilidad de N (Zemenchik y Albrecht, 2002). La recuperación aparente de N representa el efecto del N total aplicado en el estiércol sobre la absorción de N por el cultivo, ajustado por la aportación de N del suelo; en general, la RAN disminuye al aumentar la cantidad de N aplicado. Muñoz *et al.* (2004) encontraron valores de RAN del estiércol en maíz grano de 16%, en promedio de tres años, al aplicar 226 kg ha⁻¹ de N (36 Mg ha⁻¹ de estiércol en MS); al duplicar la dosis la RAN bajó a 6% debido a que no hubo un incremento proporcional en la extracción de N por el cultivo. En otro estudio también sobre maíz para grano durante tres años, Ma *et al.* (1999) estimaron valores promedio de RAN de 48 y 38% con la aplicación de 100 y 200 kg ha⁻¹ de N como fertilizante inorgánico, respectivamente; cuando la cantidad promedio de N aplicado aumentó a 237 y 474 kg ha⁻¹ de N con estiércol como fuente, la RAN disminuyó a 27 y 18%, respectivamente.

En el presente estudio se planteó como objetivo evaluar la factibilidad de sustituir total o parcialmente el fertilizante nitrogenado por estiércol o compost en maíz forrajero, en dosis estimada mediante un balance de N para cubrir el requerimiento del cultivo, así como estimar la eficiencia de recuperación de N proveniente del estiércol, en comparación con el N del fertilizante, y de combinaciones de fertilizante más estiércol o compost.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El estudio se realizó en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP, en Matamoros, Coahuila, durante el ciclo primavera-verano de 2001 a 2003. El suelo es de textura arcillosa hasta 90 cm de profundidad y sus principales propiedades se anotan en el Cuadro 1.

Tratamientos

Se establecieron parcelas de 10 m de ancho (12 surcos a 0.76 m) por 15 m de largo, con maíz forrajero para evaluar los tratamientos siguientes: 1) testigo sin fertilizar; 2) fertilización química para cubrir el requerimiento de N del cultivo; 3) dosis baja de estiércol más complemento con fertilizante químico; 4) dosis de estiércol para cubrir la demanda de N del cultivo, y 5) dosis de compost más complemento con fertilizante químico. La dosis de fertilizante y de estiércol

o compost aplicada en cada tratamiento y año se anotan en Cuadro 2.

Los Tratamientos 2 a 5 se diseñaron para aportar el requerimiento de N del cultivo, de acuerdo con la fórmula siguiente (adaptado de Meisinger y Randall, 1991; Castellanos-Ramos *et al.*, 2000):

$$DN = [(MR \times N_{ex}) - (N_{in} \times Ef_N)] / Ef_N \quad (2)$$

donde:

DN = dosis de N que se requiere aplicar (kg ha⁻¹)

MR = meta de rendimiento de forraje en MS (Mg ha⁻¹)

N_{ex} = la cantidad de N extraído por unidad de rendimiento (kg Mg⁻¹ de MS)

N_{in} = N inorgánico en el perfil del suelo (kg ha⁻¹)

Ef_N = factor de eficiencia de uso de N (kg kg⁻¹)

Para el caso de fertilizante se consideró en 0.7 porque se utilizó riego por multicompuertas y aplicación fraccionada de la dosis de N en un suelo arcilloso. La meta de rendimiento se fijó en 18 Mg ha⁻¹ de MS y la extracción unitaria de N se consideró 14 kg Mg⁻¹ de MS (Nuñez *et al.*, 2006). A partir del valor de nitratos en el suelo a 30 cm, el valor de N_{in} se calculó en 136 kg ha⁻¹.

La dosis de N calculada fue de 224 kg ha⁻¹, la cual se ajustó a 220 kg ha⁻¹. El requerimiento anterior corresponde al Tratamiento 2, donde se aplicó la dosis de 220-80-00 con sulfato de amonio y fosfato monoamónico (MAP) como fertilizantes; se aplicó todo

Cuadro 1. Propiedades del suelo donde se estableció el experimento de dosis de estiércol y fertilizante químico en maíz forrajero.

Parámetro	Método [†]	Unidad	Valor
pH	Relación 1:2		8.6
Conductividad eléctrica	Pasta de saturación	dS m ⁻¹	1.3
Materia orgánica	Walkley y Black	%	1.3
Carbonatos totales	Horton y Newson	%	10.5
Nitratos	Arrastre de vapor con aleación de Devarda	mg kg ⁻¹	34
Fósforo	Olsen	mg kg ⁻¹	20
Potasio	Acetato de amonio	mg kg ⁻¹	1120
Textura	Bouyoucos		Arcillosa
Arena		%	20
Arcilla		%	52
Limo		%	28

[†] Todos los métodos son descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2000).

Cuadro 2. Dosis de estiércol, composta y nitrógeno inorgánico, aplicados en maíz forrajero de 2001 a 2003.

Número	Tratamiento	Dosis de estiércol o composta			Dosis de nitrógeno con fertilizante		
		2001	2002	2003	2001	2002	2003
		----- Mg ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		
1	Testigo	0	0	0	0	0	0
2	Fertilizante inorgánico	0	0	0	220	220	220
3	Estiércol + fertilizante	60	60	48	55	45	70
4	Estiércol	80	75	68	0	0	0
5	Composta + fertilizante	25	25	25	200	200	200

el fósforo a la siembra y el N se fraccionó durante el ciclo aplicándose 15% en el riego de siembra, 40% en el primer riego, 30% en el segundo riego y 15% en el tercer riego. Los Tratamientos 3 a 5 no recibieron fertilizante fosforado, ya que los abonos orgánicos, aun en las dosis bajas de compost, aportaron el requerimiento del cultivo o más (Cuadros 2 y 3). La dosis de estiércol en función del requerimiento de N del cultivo (DN_{est}), en el Tratamiento 4, se estimó mediante la expresión:

$$DN_{est} = [DN / (N_{tot} \times N_{min})] / Ef_N \quad (3)$$

donde:

DN_{est} = dosis de estiércol (Mg ha⁻¹);

N_{tot} = contenido de N total en el estiércol (kg Mg⁻¹; Cuadro 3)

N_{min} = tasa de mineralización de N en el estiércol (kg kg⁻¹).

En los Tratamientos 3 y 5, la aportación de N disponible del abono orgánico, estiércol o compost (N_{ab}), se obtuvo con la fórmula:

$$N_{ab} = (D_{ab} \times N_{tot} \times N_{min}) / Ef_N \quad (4)$$

donde:

N_{ab} = N disponible del abono orgánico (kg ha⁻¹);

D_{ab} = dosis del abono orgánico (Mg ha⁻¹ en MS).

En el presente estudio se asumió un valor de N_{min} de 0.45 (NRCS, 1992), que aplica al estiércol de bovino lechero apilado, durante el primer año después de la aplicación en climas áridos, mientras que en compost se asumió 20% (Eghball *et al.*, 2006); en ambos casos se consideró una eficiencia de uso de N (Ef) de 50%, ya que los abonos orgánicos se incorporaron en una sola aplicación antes del riego de presiembra. El estiércol y la composta utilizados provinieron del mismo establo los tres años. La composta fue elaborada con estiércol como

ingrediente principal y rechazos de alimento del ganado, mediante humedecimiento y volteado de pilas con implemento jalado por tractor o composteadora. Este proceso de elaboración de compost se realiza en algunos establos de la Comarca Lagunera, como parte del manejo de estiércol. La concentración de N y otros elementos mayores en el estiércol y la composta utilizados se anotan en el Cuadro 3.

Con base en el contenido de N en el estiércol y compost utilizados en cada año, en el Cuadro 4 se presenta la aportación total de N y la cantidad estimada de N disponible para el cultivo, en función del N mineralizado y de la eficiencia de uso de N.

Manejo del Cultivo

Las dosis de estiércol y compost se incorporaron con rastra y enseguida se aplicó el riego de presiembra. Como genotipo se utilizó el híbrido SB-302. Las fechas de siembra fueron 29 de abril, 26 de abril y 5 de mayo en 2001, 2002 y 2003, respectivamente. La siembra se realizó en suelo húmedo y posteriormente se aplicaron

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en el estiércol y composta utilizados en el presente estudio.

Año/Abono	Nutrimento				
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
2001	----- % -----				
Estiércol	1.25	0.54	3.75	4.3	1.03
Composta	1.15	0.53	2.63	4.18	0.88
2002					
Estiércol	1.31	0.71	4.63	3.67	0.9
Composta	0.98	0.55	2.52	4.77	0.93
2003					
Estiércol	1.43	0.64	2.75	5.3	1.07
Composta	1.15	0.49	1.24	4.15	0.84

Cuadro 4. Cantidad total de nitrógeno aplicado y cantidad estimada de nitrógeno disponible en los tratamientos que incluyen estiércol o compost en maíz forrajero.

Tratamiento	Cantidad total de nitrógeno aplicado [†]			Nitrógeno disponible [‡] derivado del estiércol o composta		
	2001	2002	2003	2001	2002	2003
	----- kg ha ⁻¹ -----			----- kg ha ⁻¹ -----		
Fertilizante	220	220	220			
Estiércol + fertilizante	750	786	686	169	177	154
Estiércol	1000	983	972	225	221	219
Composta + fertilizante	288	245	288	29	25	29

[†] Total de N aplicado = $(D_{ab} \times N_{tot}) + N$ de fertilizante; ver Ecuación 3. [‡] $N_{ab} = (D_{ab} \times N_{tot} \times N_{min}) / Ef_N$; ver Ecuación 4. $N_{min} = 45\%$ en estiércol y 20% en compost. $Ef_N = 50\%$.

cuatro riegos de auxilio a los 28, 51, 68 y 89 días después de siembra (dds), en promedio. La cosecha se realizó entre los 99 y 105 dds, en la etapa de madurez del grano de un tercio de avance de la línea de leche (Nuñez-Hernández *et al.*, 2005; Lithourgidis *et al.*, 2007). Durante el invierno de los tres ciclos, se sembró avena forrajera en las mismas parcelas, sin la aplicación de fertilizantes, para disminuir la acumulación de nutrimentos.

Diseño Experimental y Variables Evaluadas

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se midió la altura final de planta en una muestra de 10 plantas por parcela. El rendimiento de forraje verde se cuantificó en una parcela útil de dos surcos centrales por 10 m de largo, en cada tratamiento. Para expresar el rendimiento en materia seca, el porcentaje de humedad se calculó en una muestra de tres plantas por parcela, las cuales fueron pesadas en fresco y luego secadas en estufa a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Para el análisis de N en planta se tomó una muestra de la parte aérea de 5 plantas por parcela y se analizó el N total en la planta completa por el método Kjeldahl (Jones, 2001). Se calculó el valor de RAN con la Ecuación 1. Se realizaron análisis de varianza y prueba de Tukey (0.05) para la separación de medias, con el programa estadístico SAS, versión 9.2 (SAS Institute, 2003). Además, en las variables de rendimiento de forraje y RAN, se realizó un análisis combinado a través de los ciclos con el procedimiento PROC MIXED de SAS; la separación de medias, ajustadas por mínimos cuadrados, se realizó con la prueba de "t", mediante la instrucción LSMEANS en SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de Materia Seca

En el ciclo 2001 no se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la altura final de planta, porcentaje de MS con respecto al rendimiento en verde y rendimiento de MS. La altura de planta, a la cosecha, varió de 2.25 a 2.43 m. El porcentaje de MS a la cosecha fue de 34 a 36% en los diferentes tratamientos, el cual se considera adecuado para maíz forrajero (Nuñez-Hernández *et al.*, 2005). El rendimiento de forraje en MS osciló de 15.3 a 17.8 Mg ha⁻¹, observándose los valores más altos en el tratamiento con estiércol y en el testigo sin fertilizar (Cuadro 5). La falta de respuesta al estiércol en el primer año se debió a que el N residual inicial estuvo en un nivel medio (Castellanos-Ramos *et al.*, 2000), con 34 mg kg⁻¹ (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con otros autores (Ma *et al.*, 1999; Lithourgidis *et al.*, 2007); en un estudio con un enfoque similar de sustituir N del fertilizante por estiércol, Lithourgidis *et al.* (2007), registraron diferencias significativas, entre el testigo sin fertilizar y la aplicación de estiércol o fertilizante, hasta el tercer y cuarto año de evaluación.

En el ciclo 2002, la altura de planta y el porcentaje de MS fueron estadísticamente iguales entre tratamientos, mientras que en 2003 todos los tratamientos con abono o fertilizante terminaron con una mayor altura de planta (Cuadro 5). Con respecto al rendimiento de MS, no se observaron diferencias significativas entre el uso de estiércol y fertilizante, excepto el tratamiento con fertilizante + composta en 2003 que superó al uso de fertilizante en un 46% (Cuadro 5). Cuando los estudios con estiércol se establecen con base en el requerimiento de N del cultivo, es común no encontrar diferencias

significativas con el uso de fertilizante químico (Eghball y Power, 1999), sobre todo en los primeros años, lo cual indica que los parámetros utilizados para la estimación de la dosis (N_{min} y Ef_N) son adecuados y que es posible sustituir el fertilizante por una dosis equivalente de estiércol.

El análisis combinado del rendimiento de MS en los tres ciclos indicó que las diferencias entre ciclos no fueron significativas (Cuadro 6). Con respecto a los tratamientos con fertilización, las parcelas con estiércol solo y fertilizante + compost superaron ($P \leq 0.05$) en rendimiento a los demás tratamientos, con cifras de 18.5 y 18.6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Asimismo, las parcelas con fertilizante solo y fertilizante + estiércol rindieron significativamente más ($P \leq 0.05$) que el testigo (Cuadro 6). El mayor rendimiento con el uso de estiércol coincide con otros autores (Ferguson *et al.*, 2005; Lithourgidis *et al.*, 2007; Salazar-Sosa *et al.*, 2009). Ferguson *et al.* (2005) encontraron incrementos significativos a partir del cuarto año de aplicaciones anuales de estiércol, a dosis estimadas para cubrir el requerimiento de N del cultivo de maíz. Al incremento en la materia orgánica (López-Martínez *et al.*, 2001),

así como el mejoramiento de las propiedades físicas (Khaleel *et al.*, 1981) y químicas del suelo (Schjønning *et al.*, 2006), después de varios años de incorporar estiércol o compost, se atribuye el incremento en rendimiento al utilizar estos abonos orgánicos periódicamente.

Extracción de Nitrógeno

El porcentaje de N en la planta mostró diferencias significativas sólo en 2002, ya que los tratamientos que recibieron estiércol o fertilizante fueron iguales entre sí y superaron al testigo. Sin embargo, los valores más altos se registraron en 2001 (Cuadro 5). En general, en los tratamientos que recibieron N de alguna fuente, la concentración de N varió de 1.06 a 1.53%, equivalente a 6.6 - 9.6% de proteína; estos valores son similares a los que mencionan Núñez-Hernández *et al.* (2006), en evaluaciones de genotipos de maíz forrajero. La extracción de N por el cultivo osciló de 223 a 253 kg ha⁻¹ en el 2001, sin mostrar diferencias significativas (Cuadro 5). En 2002 y 2003 la extracción de N disminuyó y se observaron diferencias con respecto al testigo,

Cuadro 5. Parámetros de cosecha, concentración de nitrógeno en la planta y extracción de nitrógeno por el cultivo de maíz forrajero con dosis de estiércol, compost y fertilizante.

Tratamiento	Altura final de planta	Materia seca a la cosecha	Rendimiento de forraje (en materia seca)	Concentración de N en planta completa	Extracción de nitrógeno por el cultivo
	m	%	Mg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
2001					
Testigo	2.38 ns	36 ns	17.8 ns	1.38 ns	247 ns
Fertilizante inorgánico	2.25	34	15.9	1.53	241
Estiércol + fertilizante	2.25	34	15.3	1.46	223
Estiércol	2.43	36	17.8	1.42	253
Composta + fertilizante	2.38	35	17.6	1.42	249
2002					
Testigo	2.09 ns	38 ns	13.4 b†	0.69 b	93 b
Fertilizante inorgánico	2.17	37	17.3 ab	1.06 a	183 a
Estiércol + fertilizante	2.27	35	16.9 ab	1.07 a	182 a
Estiércol	2.44	35	18.2 a	1.15 a	208 a
Composta + fertilizante	2.26	37	17.4 ab	1.09 a	191 a
2003					
Testigo	2.21 b	34 ns	7.9 c	0.90 ns	71 b
Fertilizante inorgánico	2.36 ab	40	14.2 bc	1.09	152 ab
Estiércol + fertilizante	2.48 a	44	17.2 ab	1.22	209 a
Estiércol	2.57 a	40	19.5 ab	1.13	220 a
Composta + fertilizante	2.50 a	43	20.8 a	1.09	226 a

† Letras distintas en la misma columna, dentro de cada año, indican diferencias significativas (Tukey, 0.05). ns = diferencias no significativas.

ya que los tratamientos con estiércol o fertilizante tuvieron valores de extracción estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$). Los resultados anteriores son similares a los de Butler *et al.* (2008), quienes al evaluar combinaciones de fertilizante y compost de bovino lechero en maíz forrajero, obtuvieron rendimientos de 13 a 25 Mg ha⁻¹ de MS con valores de extracción de N entre 176 y 311 kg ha⁻¹.

De los resultados anteriores se concluye que es posible sustituir parcial o totalmente los fertilizantes inorgánicos con la aplicación de estiércol o compost, cuando las dosis se estiman mediante un balance de N entre el requerimiento de N del cultivo, el N residual en el suelo y el N del estiércol o compost disponible para el cultivo. Este método para estimar dosis de estiércol mediante un balance de N fue utilizado por Ferguson *et al.* (2005), con resultados similares, ya que registraron rendimientos de MS promedio de 17.3 Mg ha⁻¹ cuando se aplicó estiércol y de 16 Mg ha⁻¹ cuando se utilizó fertilizante químico, con extracciones de N de 212 y 188 kg ha⁻¹, respectivamente.

Recuperación Aparente de Nitrógeno

La RAN se calcula con base en el total de N aportado (RAN_{tot}), o con el valor estimado de N disponible de los abonos orgánicos (RAN_{disp}). La RAN_{tot} en 2001 fue la más baja ($P \leq 0.05$), -2.88 a 0.66% (Cuadro 7), lo cual significa que el tratamiento testigo extrajo la misma cantidad de N que el resto

Cuadro 6. Análisis combinado del rendimiento de forraje en materia seca en los tres ciclos, en un cultivo en maíz forrajero con dosis de estiércol y fertilizante.

Ciclo	Rendimiento de forraje (MS)	Desviación estándar
	- - - - Mg ha ⁻¹ - - - -	
2001	16.88 ns	2.13
2002	16.64	2.01
2003	15.90	5.74
Tratamiento		
Testigo	13.02 c [†]	4.54
Fertilizante inorgánico	15.77 b	3.08
Estiércol + fertilizante	16.49 b	1.48
Estiércol	18.49 a	1.83
Compost + fertilizante	18.58 a	3.79

[†] Letras distintas en la misma columna, dentro de ciclo o tratamiento, indican diferencias significativas (Tukey, 0.05). ns = diferencias no significativas.

de los tratamientos con fertilizante o estiércol en el primer año de estudio (Cuadro 5). Lo anterior coincide con Muñoz *et al.* (2008), quienes registraron valores de RAN_{tot} desde -19 a 12% en el primer año de aplicación de compost de bovino.

La RAN_{tot} se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) en 2002 y 2003, con respecto al año inicial (Cuadro 7). En el caso de las parcelas con estiércol el incremento fue de 11.7% en 2002 y 15.3% en 2003, mientras que con fertilizante fue mayor ($P \leq 0.05$), 41 y 36.6% en 2002 y 2003, respectivamente. El aumento en RAN_{tot} después del año inicial se debió a que la extracción de N en las parcelas testigo se redujo 62% en 2002 y 71% en 2003, con respecto al 2001 (Cuadro 5). Esta misma tendencia fue detectada por Cogger *et al.* (2001), quienes registraron incrementos de RAN_{tot} de 14 a 45% en un lapso de siete años, al aplicar 20 Mg ha⁻¹ de biosólidos como abono orgánico en pasto alta fescue (*Festuca arundinacea* L.). De acuerdo con el análisis combinado de RAN_{tot} , éste fue estadísticamente igual ($P \leq 0.05$) en las parcelas con fertilizante y fertilizante + compost, con 25 y 18% respectivamente. Los tratamientos con estiércol solo y fertilizante + estiércol tuvieron valores de RAN menores de 10% (Cuadro 7). Como la RAN_{tot} es un índice de eficiencia, ésta tiende a disminuir al incrementarse el N total aplicado, por encima del requerimiento del cultivo (Cogger *et al.*, 2001). En el presente estudio, los tratamientos con estiércol solo y fertilizante + estiércol tuvieron más N total aplicado (Cuadro 4) y menor RAN. El valor máximo de 15% de RAN_{tot} observado en parcelas con estiércol, es similar a lo consignado por Zebarth *et al.* (1996) y Muñoz *et al.* (2004), quienes registraron valores promedio de 14 y 16% en 2 y 3 años de estudio, respectivamente. Sin embargo, otros autores han encontrado valores superiores, como 22% en maíz con estiércol de bovino (Eghball y Power, 1999), 33% en cebada con estiércol líquido de bovino (Rees y Castle, 2002) y 45% en pasto alta fescue (*Festuca arundinacea* L.) con biosólidos (Cogger *et al.*, 2001). Lo anterior indica que es posible incrementar la eficiencia de uso de N del estiércol. Una manera de incrementar RAN_{tot} es reducir, la dosis de estiércol. Sin embargo, es importante realizar estudios locales sobre mineralización de N del estiércol, para estimar las dosis de estiércol de manera más precisa (Flores-Margez *et al.* (2009).

Cuando se utilizó el N disponible para calcular RAN_{disp} , los valores no fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, ni dentro

Cuadro 7. Recuperación aparente de nitrógeno por maíz forrajero, en función del total de nitrógeno aplicado (RAN_{tot}) y del nitrógeno disponible (RAN_{disp}) del estiércol o compost.

Tratamiento	Recuperación aparente de nitrógeno			
	2001	2002	2003	Análisis combinado
	----- RAN_{tot}^{\dagger} (%) -----			
Fertilizante inorgánico	-2.45 ns	41.03 a [*]	36.65 a	25.08 A [§]
Estiércol + fertilizante	-2.88	10.73 b	18.18 ab	8.68 B
Estiércol	0.66	11.69 b	15.28 b	9.21 B
Composta + fertilizante	0.42	22.06 ab	31.76 ab	18.08 A
Análisis combinado	-1.06 B [§]	21.38 A	25.47 A	
	----- RAN_{disp}^{\dagger} (%) -----			
Fertilizante inorgánico	-2.45 ns	41.03 ns	36.65 ns	25.08 ns
Estiércol + fertilizante	-10.37	40.19	61.28	30.37
Estiércol	2.94	51.96	67.91	40.94
Composta + fertilizante	0.90	43.72	67.69	37.44
Análisis combinado	-2.24 B [§]	44.22 A	58.38 A	

[†] Ver valores en Cuadro 4. ^{*} Letras minúsculas distintas en la misma columna indican diferencias significativas dentro de años (Tukey, $P \leq 0.05$).

[§] Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre años o tratamientos a través de años ($P \leq 0.05$). ns = diferencias no significativas.

de años ni en el análisis combinado. Al comparar entre años, solo en el primero el valor de RAN_{disp} fue menor que en 2002 y 2003 (Cuadro 7). El hecho de que los valores de RAN_{disp} no difieran significativamente, indica que el método de balance de N utilizado en el presente estudio para estimar la dosis de aplicación de estiércol es adecuado. Lo anterior puede contribuir a reducir las altas dosis de aplicación que se realizan en la Comarca Lagunera (Figuroa-Viramontes *et al.*, 2009), además de coadyuvar a la sustentabilidad del sistema de producción forraje-leche.

CONCLUSIONES

- La aplicación de estiércol solo, en dosis estimada para cubrir el requerimiento de N del cultivo, y la combinación de fertilizante con estiércol o compost, permitió obtener rendimientos de materia seca iguales o mayores al uso de fertilizante solo. La extracción de N fue similar en las parcelas con fertilizante, estiércol y combinaciones de estiércol o compost con fertilizante. Lo anterior indica que es posible sustituir parcial o totalmente el fertilizante químico en el cultivo de maíz forrajero por estiércol o compost, sin afectar el rendimiento.
- La recuperación aparente de N total aplicado (RAN_{tot}) tuvo valores máximos de 41% en el fertilizante químico y de 15% en el estiércol. En promedio de los tres años de estudio, el valor de RAN_{tot} fue menor en los dos tratamientos con estiércol, los cuales tuvieron mayor

cantidad total de N aplicado, con respecto al uso de fertilizante solo o con compost.

- Los valores de RAN_{disp} fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos evaluados, lo que indica que el método de balance de N utilizado en el presente estudio para estimar la dosis de aplicación de estiércol es adecuado.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Coahuila, A.C., Fundación Produce Durango, A.C. y al Patronato para la Investigación Agropecuaria de La Laguna (PIAL), por el financiamiento del proyecto de investigación. Al Establo Ampuero por proporcionar el estiércol y la compost durante los años de estudio.

LITERATURA CITADA

- Butler, T. J., K. J. Han, J. P. Muir, D. C. Weindorf, and L. Lastly. 2008. Dairy manure compost effects on corn silage production and soil properties. *Agron. J.* 100: 1541-1545.
- Castellanos-Ramos, J. Z., J. J. Márquez-Ortiz, J. D. Etchevers-Barra, A. Aguilar-Santelises y J. R. Salinas. 1996. Efecto de 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.
- Castellanos-Ramos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas. INCAPA. México, D. F.

- Cogger, C. G., A. I. Bary, S. C. Fransen, and D. M. Sullivan. 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual.* 30: 2188-2194.
- Cueto-Wong, J. A., D. G. Reta-Sánchez, G. González-Cervantes, I. Orona-Castillo y J. Estrada-Ávalos. 2005. Características químicas de aguas de pozos profundos del acuífero de Villa Juárez, Durango. *Agrofaz* 5: 869-874.
- Eghball, B. and J. F. Power. 1999. Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 895-901.
- Eghball, B., B. J. Wienhold, J. E. Gilley, and R.A. Eigenberg. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.* 57: 470-473.
- Ferguson, R. B., J. A. Nienaber, R. A. Eigenberg, and B. L. Woodbury. 2005. Long-term effect of sustained feedlot manure application on soil nutrients, corn silage yield, and nutrient uptake. *J. Environ Qual.* 34: 1672-1681.
- Figueroa-Viramontes, U. y J. A. Cueto-Wong. 2003. Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos. pp. 1-22. *In: E. Salazar S., M. Fortis H. y A. Vázquez A. (eds.). Abonos Orgánicos y Plásticultura. FAZ-UJED, SMCS. Gómez Palacio, Dgo., México.*
- Figueroa-Viramontes, U., G. Nuñez-Hernández, J. A. Delgado, J. A. Cueto-Wong y J. P. Flores-Margez. 2009. Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera. pp. 128-151. *In: I. Orona C., E. Salazar S., M. Fortis H. (eds.). Agricultura orgánica. FAZ-UJED, SMCS. Gómez Palacio, Dgo., México.*
- Flores-Margez, J. P., B. Corral-Díaz, U. Figueroa-Viramontes, L. Mauricio-Rivera y V. Sotomayor-Villezcás. 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, Dgo., México.*
- Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Khaleel, R., K. R. Reddy, and M. R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual.* 10: 133-141.
- Lithourgidis, A. S., T. Matsi, N. Barbayiannis, and C. A. Dordas. 2007. Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties. *Agron. J.* 99: 1041-1047.
- López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubín y R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra* 19: 293-299.
- Ma, B. L., L. M. Dwyer, and E. G. Gregorich. 1999. Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agron. J.* 91: 650-656.
- Márquez-Rojas, J. L., U. Figueroa-Viramontes, J. A. Cueto-Wong y A. Palomo-Gil. 2006. Eficiencia de recuperación de nitrógeno de estiércol bovino y fertilizante en una rotación sorgo – trigo para forraje. *Agrofaz* 6: 145-151.
- Martínez-Rodríguez, J.G., J. Z. Castellanos-Ramos, M. Rivera-González, G. Nuñez-Hernández y R. Faz-Contreras. 2006. Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del Estado de Guanajuato. *Agrofaz* 6: 379-387.
- Meisinger, J. J. and G. W. Randall. 1991. Estimating nitrogen budgets for soil-crop systems. pp. 85-124. *In: R. F. Follet, D. R. Keeney, and R. M. Cruse (eds.). Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Muñoz, G. R., K. A. Kelling, J. M. Powell, and P. E. Speth. 2004. Comparison of estimates of first-year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques. *J. Environ. Qual.* 33: 719-727.
- Muñoz, G. R., K. A. Kelling, K. E. Rylant, and J. Zhu. 2008. Field evaluation of nitrogen availability from fresh and composted manure. *J. Environ. Qual.* 37: 944-955.
- NRCS (Natural Resource Conservation Service). 1992. Agricultural waste management field handbook. USDA. Natural Resource Conservation Service. Agriculture and Engineering Service. Washington, DC, USA.
- Núñez-Hernández, G., A. Peña-Ramos, F. González-Castañeda y R. Faz-Contreras. 2006. Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje. pp. 45-97. *In: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Libro Científico No. 3. Matamoros, Coah. México.*
- Núñez-Hernández, G., R. Faz-Contreras, F. González-Castañeda y A. Peña-Ramos. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pec. Méx.* 43: 69-78.
- Rees, R. and K. Castle. 2002. Nitrogen recovery in soils amended with organic manures combined with inorganic fertilizers. *Agronomie* 22: 739-746.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Delegación Comarca Lagunera. <http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/laguna/informacion.htm>. (Consulta: marzo 19, 2009).
- Salazar-Sosa, E., H. I. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez, J. D. López-Martínez, M. Fortis-Hernández, R. Zuñiga-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.
- SAS Institute. 2003. SAS/STAT user's guide. Release 9.1 ed. SAS Inst. Cary, NC, USA.
- Schjøning, P., B. T. Christensen, and B. Carstensen. 2006. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *Eur. J. Soil Sci.* 45: 257-268.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México, D. F.
- Van Horn, H. H., A. C. Wilkie, W. J. Powers, and R. A. Nordstedt. 1994. Components of dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.* 77: 2008-2030.
- Zebarth, B. J., J. W. Paul, O. Schmidt, and R. McDougall. 1996. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yield and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* 76: 153-164.
- Zemenchik, R. A. and K. A. Albrecht. 2002. Nitrogen use efficiency and apparent nitrogen recovery of Kentucky bluegrass, smooth brome grass, and orchardgrass. *Agron. J.* 94: 421-428.