

## Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*)

Fertilizer and manure equivalent rates on forage corn production (*Zea mays*)

López-Calderón MJ<sup>1</sup>, U Figueroa-Viramontes<sup>2\*</sup>, M Fortis-Hernández<sup>1</sup>, G Núñez-Hernández<sup>2</sup>, E Ochoa-Martínez<sup>2</sup>, JI Sanchez-Duarte<sup>2</sup>

**Resumen.** Se efectuó un experimento con dosis crecientes de fertilizante y estiércol en el cultivo de maíz forrajero para evaluar la respuesta agronómica del mismo y estimar la disponibilidad de nitrógeno en el estiércol. Se agregaron 0, 67, 100 y 133% de los requerimientos de nitrógeno del cultivo (RNC), utilizando sulfato de amonio y estiércol como fuente de N. El rendimiento de materia seca (MS) fue estadísticamente similar entre los tratamientos que recibieron N, siendo diferentes del testigo. La extracción de nitrógeno a la cosecha no mostró diferencia estadística entre tratamientos (con fertilizante o estiércol), siendo todos diferentes al testigo sin N ( $p \leq 0,05$ ). Con ambas fuentes de N, la extracción de N se ajustó a una ecuación de regresión cuadrática, en función de la dosis de N. De acuerdo con el método de equivalencia de fertilizante (EF), las dosis de 231,3 kg/ha de N inorgánico con fertilizante y 752,9 kg/ha de N total con estiércol, tuvieron 129,5 kg/ha de N extraído por el cultivo (Nex). La relación entre las dosis anteriores, N del fertilizante/N total del estiércol, representa la disponibilidad al cultivo del N del estiércol; en el presente estudio fue de 30,7% del N total del estiércol. Al no registrarse diferencias en rendimiento entre las fuentes de N, se concluye que es posible sustituir el fertilizante por estiércol, a una dosis que se aproxime al requerimiento de N del cultivo. La estimación del N disponible del estiércol es importante para ajustar las dosis y evitar aplicaciones excesivas y riesgos de contaminación.

**Palabras clave:** Disponibilidad de nitrógeno; Extracción de nitrógeno; Nitrógeno en planta; Rendimiento de forraje.

**Abstract.** An experiment with increasing rates of fertilizer and manure in silage corn was established to evaluate the agronomic crop response and to estimate the manure nitrogen availability. The treatments were designed to deliver 0, 67, 100 and 133% of the crop nitrogen requirements (CNR), using ammonium sulphate and manure as N source. Dry matter (DM) yield was similar among treatments receiving N, but those values were greater than those found in the control. Nitrogen extraction at harvest was not statistically different in treatments with fertilizer or manure, but it was higher in these treatments than in the control without N ( $p \leq 0.05$ ). With both sources of N, crop N extraction was adjusted to a quadratic regression equation, as a function of N rates. According to the fertilizer equivalence (EF) methodology, the rate of 231.3 kg/ha of inorganic fertilizer N, and 752.9 kg/ha of total N in manure, had 129.5 kg/ha of N extracted by the crop. The ratio of the above rates, fertilizer N/manure total N, represents the crop available manure N; in the present study, it was 30.7% of total N in the manure. Since no differences in yield were observed between N sources, it is concluded that N fertilizer can be substituted by manure, at a rate estimated to provide the crop N requirements. The estimation of the manure available N is important to adjust manure rates, thereafter avoiding excessive applications and pollution risks.

**Keywords:** Available nitrogen; Nitrogen extraction; Plant nitrogen; Forage yield.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Torreón (ITT). División de Estudios de Postgrado. km 7.5 Carretera Torreón San Pedro. Ejido Ana. 27170 Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdés 1200 Pte. Col. Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México.

Address Correspondence to: Dr. Uriel Figueroa Viramontes. Teléfono: 52-871-1823177, e-mail: figueroa.uriel@inifap.gob.mx

Recibido / Received 31.I.2014. Aceptado / Accepted 10.VI.2014.

## INTRODUCCIÓN

El estiércol que se genera en las unidades de producción de leche se puede utilizar para mejorar las propiedades del suelo, pero también aporta cantidades considerables de nitrógeno (N) y otros nutrimentos esenciales para los cultivos. En regiones productoras de leche es importante contar con áreas agrícolas, en las cuales se reciclen los nutrientes excretados por el bovino lechero, de lo contrario se generan riesgos de contaminación del agua por exceso de N (Martínez et al., 2005). El bovino lechero tiene una baja eficiencia en el uso de N. De acuerdo con Van Horn et al. (1996), la eficiencia de uso de N por parte del bovino lechero es de 30%, el cual representa la formación de la proteína de la leche; el 70% restante del N es excretado. Estos autores estimaron que el 38% del N del estiércol aplicado en suelos agrícolas se perdió por diferentes procesos, mientras que sólo el 32% fue recuperado por los cultivos.

La Comarca Lagunera, ubicada en el centro Norte de México, es la región con mayor número de cabezas de bovino lechero en el país. En promedio anual, de 1999 al 2011 se registraron 422000 cabezas de bovino, con 53% de ellas en lactancia, las cuales produjeron poco más de 2000 millones de L de leche al año. Esto representa un 20% de la producción nacional (López et al., 2013). Nennich et al. (2005) registraron que en promedio una vaca Holstein de 630 kg con una producción de 31,4 kg/día de leche, produce 2,6 t/año de estiércol seco, el cual contiene 160 kg de N. De lo anterior se puede estimar que en la Comarca Lagunera, solo las vacas en lactancia producen 581000 t/año de estiércol en materia seca (MS), que contiene 35785 t de N; este aporte de N puede ser utilizado para fertilizar la mayor parte de las áreas agrícolas de la Comarca Lagunera que se dedican a producir forrajes para el ganado lechero, reciclando así los nutrientes y reduciendo el riesgo de contaminación por excesos de N (Figueroa et al., 2009). Acorde con la actividad ganadera de la Comarca Lagunera, en promedio de 1999 al 2011, el 65% de una superficie agrícola de 150000 ha se cosechó con cultivos forrajeros, siendo los más importantes alfalfa, maíz, sorgo y avena (López et al., 2013).

Actualmente, el costo de los fertilizantes y su aplicación puede representar del 20 al 40% del costo de producción de cultivos forrajeros, por lo que el uso del estiércol como fertilizante produciría ahorros significativos. Sin embargo, la práctica más común en el manejo de estiércol es la aplicación de dosis mayores de 80 t/ha (Fortis et al., 2009), en adición a dosis convencionales de fertilizantes. El uso excesivo de fertilizantes y estiércol puede contaminar el agua subterránea con nitratos, como ya se ha documentado en la Comarca Lagunera (Cueto et al., 2005; Martínez et al., 2006). Este problema obedece en parte a que en México no existe regulación en el uso de fertilizantes y abonos orgánicos para la agricultura (Figueroa et al., 2003). A falta de regulación, se requiere promover

“buenas prácticas de manejo” de estiércol y fertilizantes en la agricultura, basadas en análisis de N aprovechable en el suelo y el estiércol, así como en la demanda de N de los cultivos para alcanzar un rendimiento potencial. Por lo tanto, nuestro objetivo fue estudiar la disponibilidad del N contenido en el estiércol de bovino lechero y su respuesta en el maíz forrajero, para utilizarlo como herramienta para estimar dosis de estiércol, de acuerdo con las necesidades del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el 2012 en el Campo Experimental la Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila, México, situado en la Comarca Lagunera; esta región tiene una precipitación pluvial de 243 mm al año, una altura sobre el nivel del mar de 1116 m y una temperatura media anual de 24 °C. Durante el ciclo otoño-invierno 2011-2012 se sembró Triticale en todo el lote experimental; el

**Tabla 1.** Análisis del suelo en el sitio experimental, previo a la aplicación de los tratamientos.

**Table 1.** Soil analysis in the experimental site before treatment application.

Tratamiento	pH	CE	Materia orgánica	N inorgánico	P Olsen
		dS/m	%	mg/kg	mg/kg
Parcelas testigo	8,24	0,88	0,94	12,76	7,44
Parcelas con fertilizante	8,12	0,65	1,59	14,17	10,90
Parcelas con estiércol	7,99	0,40	1,99	13,01	11,57

**Tabla 2.** Métodos de análisis utilizados en las muestras de suelo.

**Table 2.** Analytical methods used in soil samples.

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Método
Potencial de hidrógeno	pH		Relación 1:2
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	Pasta de saturación
Materia Orgánica	MO	%	Walkley y Black
Textura		%	Bouyoucos
Nitrógeno inorgánico	Ni	mg/kg	Arrastre de vapor con aleación de Devarda y óxido de magnesio
Fósforo	P	mg/kg	Olsen

cultivo se desarrolló por 120 días y no se fertilizó con la finalidad de bajar la concentración de N inorgánico en el suelo. El suelo es de textura arcillo limosa (50% de arcilla, 42% de limo y 8% de arena). Otras características del suelo al inicio del experimento se pueden observar en la Tabla 1. Los métodos utilizados (Tabla 2) fueron los descritos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establecen las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos (SEMARNAT, 2000).

El híbrido de maíz que se sembró fue Arrayán, escogiéndose esta variedad por dar altos rendimientos. Previo a la siembra, las dosis de estiércol se incorporaron con rastra y se aplicó seguidamente el riego de pre-siembra. La misma se realizó el 5 de mayo del 2012 en suelo húmedo, a una densidad de siembra de 8 semillas por metro lineal, para tener una densidad de 100000 semillas por hectárea. Durante el ciclo del cultivo se dieron cuatro riegos complementarios a los 23, 45, 68 y 98 días después de la siembra. La lámina de riego total aproximada fue de 720 mm. La cosecha se efectuó a los 110 días después de la siembra, cuando el desarrollo del grano llegó a 1/3 de línea de leche.

Las parcelas fueron de 8 m de ancho (10 surcos separados a 0,76 m) por 12 m de largo, donde se sembró maíz forrajero para evaluar los siguientes tratamientos: T1 = Testigo sin fertilizar; T2, T3, T4 = Fertilización química al 67, 100 y 133% del requerimiento de N del cultivo (RNC), respectivamente; T5, T6, T7 = Estiércol en dosis estimada para aportar el 67, 100 y 133% del RNC, respectivamente. El tratamiento de fertilización al 100% se diseñó para aportar el requerimiento de N del maíz forrajero, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$DN = [(MR \times Nex) - (Ni \times Ef)]$$

Donde:

DN = Dosis de N que se requiere aplicar (kg/ha)

MR = Meta de rendimiento (t/ha)

Nex = Cantidad de N extraído por unidad de rendimiento (kg de N por t de MS)

Ni = Nitrógeno inorgánico en el suelo (kg/ha)

Ef = Factor de eficiencia de uso del nitrógeno (0,7).

La meta de rendimiento fue de 18 t/ha de MS, con una extracción unitaria de 14 kg/t MS (Figueroa et al., 2010). El aporte de nitrógeno por el perfil del suelo fue de 69 kg/ha. Por lo tanto, la dosis de fertilizante para obtener el 100% del RNC fue de 202 kg/ha, que para fines de los tratamientos se redondeó a 200 kg/ha. Como fuente de nitrógeno y fósforo se aplicaron sulfato de amonio (20,5% de N) y ácido fosfórico (52% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La aplicación de P se hizo en el primer riego, mientras que el N se fraccionó en los tres primeros riegos (40, 50 y 10% de la dosis). En el caso del estiércol se estimó una dosis para aportar el 100% del RNC (202 kg/ha N), mediante la fórmula siguiente:

$$Dest = \frac{[DN / (Nt \times Nm)] / Ef}{MSe}$$

Donde:

Dest = dosis de estiércol (t/ha)

DN = Dosis de N que se requiere aplicar (202 kg/ha)

Nt = concentración de N total en el estiércol (kg/t)

Nm = tasa de mineralización de N en el estiércol (kg/kg)

Ef = Factor de eficiencia de uso del nitrógeno (0,7)

MSe = Materia seca del estiércol (kg/kg).

El estiércol de bovino lechero utilizado tenía una concentración de Nt de 11 kg/t, con 67% de MS; se consideró una tasa de mineralización de 0,4 kg/kg (NRCS, 1992) y una eficiencia de uso de N de 0,7. Con los datos anteriores, la dosis equivalente de estiércol para aportar el 100% del RNC (202 kg/ha de N) fue de 98 t/ha, la cual se redondeó a 100 t/ha. Los tratamientos de dosis de fertilizante y dosis de estiércol con base en el RNC se anotan en la Tabla 3. Se tomaron mediciones de altura en 10 plantas por parcela. Para el cálculo de porcentaje de MS se cortaron tres plantas por parcela, se pesaron en fresco y posteriormente se llevaron a la estufa a 65 °C hasta alcanzar peso constante. Con el dato anterior se determinó el rendimiento de forraje en base seca. Para evaluar la concentración de N en la planta se molieron tres plantas por parcela usando una malla de 1 mm; la determinación de N fue mediante el método Kjeldahl (Jones, 2001).

**Tabla 3.** Dosis de fertilizante y de estiércol aplicadas en parcelas de maíz forrajero.

**Table 3.** Fertilizer and manure rates applied in forage corn plots.

No.	Tratamiento	Dosis de Fertilizante (kg/ha)	Dosis de Estiércol (t/ha)	N total en el estiércol (kg/ha)
1	Testigo	0	0	0
2	Fertilizante 67% RNC	134	0	0
3	Fertilizante 100% RNC	200	0	0
4	Fertilizante 133% RNC	266	0	0
5	Estiércol 67% RNC	0	67	494
6	Estiércol 100% RNC	0	100	737
7	Estiércol 133% RNC	0	133	980

Para estimar la disponibilidad de N del estiércol se utilizó el método de equivalencia de fertilizante (EF), propuesto por Motavalli et al. (1989) y Muñoz et al. (2004). Básicamente se obtienen ecuaciones de regresión entre dosis de N inorgánico con fertilizante o de N total con estiércol, *versus* la cantidad de N extraído por el cultivo. El valor de EF es la dosis de fertilizante que produce el mismo valor de N extraído que una dosis dada de N total en estiércol; la disponibilidad de N proveniente del estiércol es la relación entre la dosis de N del fertilizante con respecto a la dosis de N total del estiércol que produce el mismo valor de N extraído por el cultivo.

En la distribución de los tratamientos en campo se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. Se utilizó el paquete estadístico SAS 9.1 para realizar el análisis de varianza y separación de medias con la prueba de Tukey (0,05).

## RESULTADOS

**Variables agronómicas y rendimiento.** Los resultados no registraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los tratamientos para el porcentaje de MS. La altura de las plantas y el rendimiento en verde fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos que recibieron N en cualquiera de las dos formas. En la cosecha, la altura de las plantas varió de 2,2 a 2,6 m. El porcentaje de MS a la cosecha fue de 33 a 36% en los diferentes tratamientos. Al igual que el forraje verde, el rendimiento de forraje expresado en MS fue estadísticamente similar entre

**Tabla 4.** Comparación de medias de rendimiento y variables fenológicas en el cultivo de maíz forrajero.

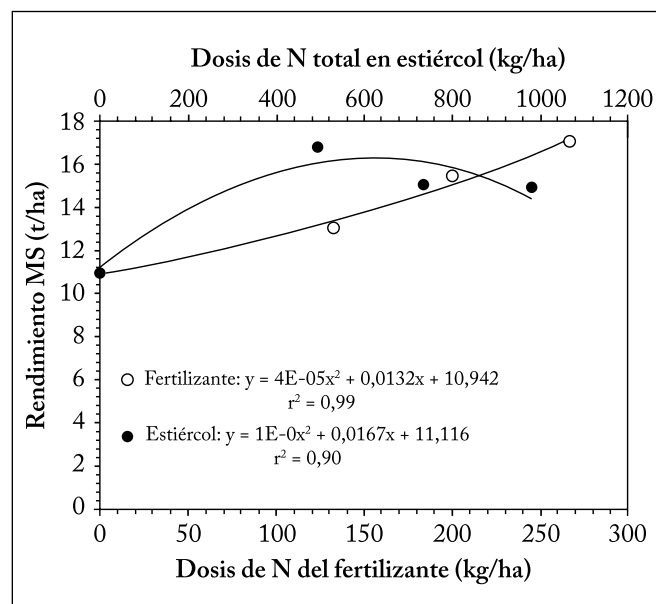
**Table 4.** Mean comparison of yield and phenological variables in forage corn.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Rendimiento en verde (t/ha)	Rendimiento en MS (t/ha)	Materia seca (%)
Testigo	221 b	33 b	10,99b	32,63 ns
Fertilizante 67% RNC	238 ab	39 ab	13,08ab	33,41
Fertilizante 100% RNC	246 ab	48 a	15,44a	32,37
Fertilizante 133% RNC	250 ab	50 a	16,98a	34,01
Estiércol 67% RNC	256 a	47 a	16,84a	36,21
Estiércol 100% RNC	254 ab	45 a	15,03ab	33,31
Estiércol 133% RNC	249 ab	44 ab	14,88ab	33,36

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (Tukey,  $p \leq 0,05$ ). ns = diferencias no significativas.

los tratamientos que recibieron fertilizante o estiércol, siendo diferentes del testigo. El valor mayor lo obtuvo el tratamiento de fertilización química al 133% del RNC, donde se aplicaron 267 kg/ha de N, con un rendimiento de 16,98 t/ha de MS. El rendimiento más bajo correspondió al testigo con 10,99 t/ha de MS. El rendimiento de fertilización química y de estiércol al 100 % del RNC fue de 15,43 y 15,03 t/ha de MS, respectivamente (Tabla 4).

En la Figura 1 se muestra la relación que hay entre la dosis de N del fertilizante y del estiércol con respecto al rendimiento de MS. Se observa una respuesta cuadrática del rendimiento de MS a las dosis de fertilizante ( $r^2=0,99$ ) y de estiércol ( $r^2=0,90$ ). En base al modelo matemático para el estiércol, se obtuvo el rendimiento máximo de 16,27 t/ha de MS, al aplicar una dosis de 617 kg/ha de N total aportado por el estiércol; el mismo rendimiento se obtuvo al aplicar 241 kg/ha de N como fertilizante.



**Fig. 1.** Respuesta del rendimiento de maíz forrajero a dosis de fertilizante y estiércol.

**Fig. 1.** Forage corn yield response to fertilizer and manure rates.

**Estimación de la disponibilidad de nitrógeno del estiércol.** Para estimar la disponibilidad de N del estiércol, primero se estimó la extracción de N máxima en los tratamientos de estiércol, de acuerdo a la ecuación cuadrática de la Figura 2; en este caso el valor fue de 129,5 kg/ha con una dosis de 752,9 kg/ha de N total en el estiércol. Luego, se calculó la dosis de N equivalente con fertilizante para obtener el mismo valor de extracción de 129,5 kg/ha, que dió un valor de 231,3 kg/ha de N como fertilizante. La disponibilidad de N en el estiércol se obtuvo dividiendo la dosis de N del fertilizante (231,3 kg/ha de N) por la dosis de N total del estiércol (752,9 kg/ha de N), lo que dió un valor de 30,7%.

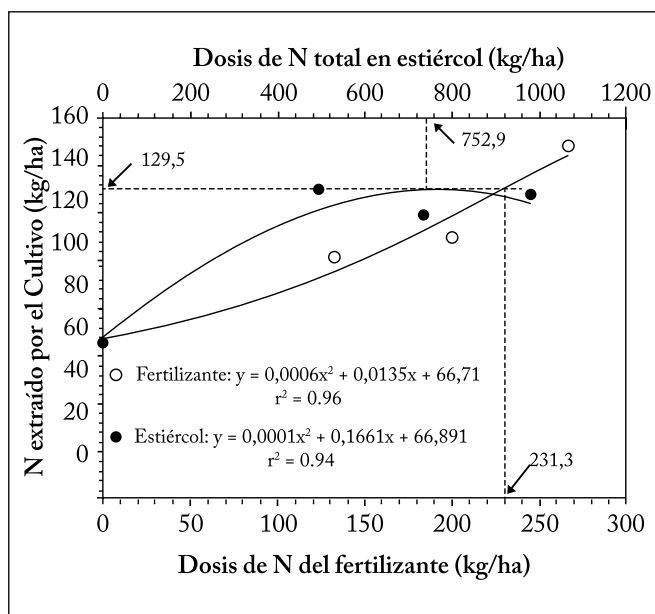


Fig. 2. Extracción de nitrógeno por el cultivo de maíz forrajero en respuesta a dosis de fertilizante y estiércol.

Fig. 2. Forage corn nitrogen extraction in response to fertilizer and manure rates.

## DISCUSIÓN

El porcentaje de MS a la cosecha no fue afectado por los tratamientos; los valores de 33 a 36% se consideran adecuados para promover una buena fermentación durante el ensilaje del maíz forrajero (Núñez et al., 2006). El mayor rendimiento de forraje verde con 50 t/ha, se obtuvo con fertilización química al 133% de RNC, rendimiento similar al obtenido por Núñez et al. (2006) con una dosis de 160-80-00.

El rendimiento máximo de MS registrado de 16,98 t/ha con 133% del RNC como fertilizante, fue inferior al encontrado por Reta et al. (2007), quienes aplicaron 300 kg/ha de N obteniendo 19,14 t/ha de MS. El rendimiento obtenido con estiércol fue menor a 18,5 t/ha de MS, valor encontrado por Figueroa et al. (2010), donde también se establecieron parcelas para satisfacer el 100% de RNC con fertilizante y con estiércol. Como la respuesta a dosis altas de N es una caída en la ecuación cuadrática (Fig. 1), es probable que bajo las condiciones del presente estudio faltó un tratamiento de N más alto para obtener una caída del rendimiento. La respuesta cuadrática de maíz a dosis de N ha sido reportada por otros autores (Varvel et al., 2007; González et al., 2009).

Al utilizar un modelo matemático para calcular la disponibilidad de N del estiércol, dio un valor de 30,7%. Muñoz et al (2004) obtuvieron para el método de equivalencia de fertilizante una media 41% de disponibilidad de nitrógeno en el estiércol cuando compararon distintos métodos para determinar la disponibilidad del nitrógeno en el cultivo de maíz.

Motavalli et al. (1989) reportaron un promedio de 32% de disponibilidad de nitrógeno en el estiércol, valor similar al obtenido en el presente estudio.

## CONCLUSIONES

La aplicación de los distintos tratamientos de estiércol permitieron obtener rendimientos de materia seca similares estadísticamente a los tratamientos donde se aplicó fertilizante químico, oscilando entre 13,08 y 16,98 t/ha de MS.

En base a que los rendimientos fueron similares tanto para estiércol como para fertilizante, este estudio indica que es posible sustituir el fertilizante químico por estiércol, en dosis estimadas para cubrir el requerimiento de N del cultivo, sin afectar el rendimiento.

Dentro de cada fuente de N, el N extraído por el cultivo aumentó de manera cuadrática en función de la dosis de N aplicada. La disponibilidad de N del estiércol fue de 30,7%. Con el valor anterior es posible estimar la dosis de aplicación de estiércol en el cultivo de maíz forrajero, a partir de la dosis de N total aplicado.

## AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), como parte del proyecto sectorial CONACYT-SAGARPA 2010-01-144591: "Mejoramiento de la productividad y sustentabilidad de la cadena productiva leche de bovino en México".

## REFERENCIAS

- Cueto, W.J.A., D.G. Reta S., G. González C., I. Orona C. y J. Estrada A. (2005). Características químicas de aguas de pozos profundos del acuífero de Villa Juárez, Durango. *Agrofaz* 5: 869-874.
- Figueroa, V.U. y J.A. Cueto W. (2003). Uso sustentable del suelo y abonos orgánicos. En: E. Salazar S., M. Fortis H. y A. Vázquez A. (Eds.). *Abonos Orgánicos y Plásticos*. FAZ-UJED, SMCS. Gómez Palacio, Dgo., México. pp. 1-22.
- Figueroa, V.U., G. Núñez H., J.A. Delgado, J.A. Cueto W. y J.P. Flores M. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la comarca lagunera. En: I. Orona C., E. Salazar S. y M. Fortis H. (Eds.), pp. 128-151. *Agricultura Orgánica*. 2ª ed. FAZ-UJED, SMCS. Gómez Palacio, Dgo., México.
- Figueroa, V.U., J.A. Cueto, W., J.A. Delgado, G. Núñez, H., D.G. Reta, S., H.M. Quiroga, G., R. Faz, C. y J.L. Márquez, R. (2010). Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28: 361-369.
- Fortis, H.M., J.A. Leos R., I. Orona C., J.L. García H., E. Salazar S., P. Preciado R., V.J. Arnaldo O. y M.A. Segura C. (2009). Uso de Estiércol Bovino en la Comarca Lagunera. En: I. Orona C., E. Salazar S. y M. Fortis H. (Eds.). *Agricultura orgánica*. 2ª ed. FAZ-UJED. SMCS. Gómez Palacio, Dgo. pp. 105-128.

- González, T.A., U. Figueroa V., J.A. Delgado, G. Núñez H., J.A. Cueto W., P. Preciado R. y A. Palomo G. (2009). Calibración del SPAD-502 para evaluar requerimientos de Nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 27: 303-309.
- Jones, J.B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. New York, NY, USA. 363 p.
- López, C.M., U. Figueroa V., M. Fortis H. y G. Núñez H. (2013). Estimación del contenido de nitrógeno en los estiércoles y su balance con el requerimiento de nitrógeno de los cultivos en la Comarca Lagunera. En: M. Fortis H., I. Orona C. y M.A. Gallegos R. (Eds.), pp. 295-313. Agricultura orgánica - 6ª parte. FAZ-UJED. SMCS. Gómez Palacio, Dgo.
- Martínez, R.J.G., J.Z. Castellanos R., M. Rivera G., G. Núñez H. y R. Faz C. (2006). Contaminación por nitratos en acuíferos del norte de México y del Estado de Guanajuato. *Agrofaz* 6: 379-387.
- Motavalli, P.P., K.A. Kelling, y J.C. Converse (1989). First-year nutrient availability from injected dairy manure. *Journal of Environmental Quality* 18: 180-185.
- Muñoz, G.R., K.A. Kelling, J.M. Powell y P.E. Speth (2004). Comparison of estimates of first-year dairy manure nitrogen availability or recovery using nitrogen-15 and other techniques. *Journal of Environmental Quality* 33: 719-727.
- Nennich, T.D., J.H. Harrison, L.M. VanWieringen, D. Meyer, A.J. Heinrichs, W.P. Weiss, N.R. St-Pierre, R.L. Kincaid, D.L. Davidson y E. Block (2005). Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88: 3721-3733.
- NRCS (1992). Agricultural waste management field handbook. USDA. Natural Resource Conservation Service. Agriculture, and Engineering Service. Washington, DC. <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/technical/ecoscience/mnm/?cid=stelprdb1045935>. (Consultado en febrero de 2014).
- Núñez, H.G., A. Peña R., F. González C. y R. Faz C. (2006). Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Científico No.3. INIFAP. Torreón, Coah., México.
- Reta, S.D.G., J.A. Cueto W., A. Gaytán M. y J. Santamaría C. (2007). Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 33: 145-151.
- SEMARNAT (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/021.pdf>. (Consultado en febrero de 2014).
- Van Horn, H.H., G.L. Newton y W.E. Kunkle (1996). Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance. *Journal of Animal Science* 74: 3082-3102.
- Varvel, G.E., W.W. Wilhelm, J.F. Shanahan y J.S. Schepers (2007). An algorithm for corn nitrogen recommendations using a chlorophyll meter based sufficiency index. *Agronomy Journal* 99: 701-706.