

Disponibilidad de nitrógeno usando dos tipos de estiércol de bovino lechero en cultivos de maíz forrajero y triticale

Availability of nitrogen using two types of dairy cattle manure in forage corn and triticale

Olivia García Galindo¹, Uriel Figueroa Viramontes², José A. Cueto Wong², Gregorio Núñez Hernández¹, Miguel Á. Gallegos Robles¹ y José D. López Martínez¹

Palabras clave: *Zea mays*; *x Triticosecale*; equivalencia de fertilizante; extracción de nitrógeno; separador de sólidos

Keywords: *Zea mays*; *x Triticosecale*; fertilizer equivalence; nitrogen extraction; solids separator

Recepción: 22-10-2018 / Aceptación: 24-01-2019

Resumen

Introducción: La Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango, México, es la región con la mayor producción de leche en el país. En esta región son comunes las explotaciones lecheras con áreas agrícolas para la producción de cultivos forrajeros, donde se aplican dosis excesivas de estiércol y se han reportado problemas de contaminación del agua por nitratos; por lo tanto, es importante generar información sobre el nitrógeno disponible del estiércol (NDE) en un sistema de dos cosechas por año.

Método: Se realizó un estudio con dosis crecientes de nitrógeno (N), en función del requerimiento de N del cultivo (RNC), utilizando urea, estiércol de corral (EC) y estiércol del separador de sólidos (ESS) como fuentes de N, en cultivos de maíz forrajero en primavera-verano y triticale en otoño-invierno. Se evaluó el rendimiento de los cultivos y el NDE en ambos tipos de estiércol.

Resultados: El rendimiento de materia seca de maíz fue similar en todos los tratamientos, de 13.9 a 15.5 t·ha⁻¹, excepto en la dosis de 133% RNC con ESS, que tuvo el rendimiento más bajo. En triticale, las diferencias en rendimiento fueron no significativas. En maíz, la dosis de 428.6 kg·ha⁻¹ de N total con EC y de 449.6 kg·ha⁻¹ de N total con ESS, tuvieron la misma extracción de N (N_{ex}) de 141.2 kg·ha⁻¹, equivalente a la dosis de 185 kg·ha⁻¹ de N con urea, que corresponde al 100% del RNC. Lo anterior indica una disponibilidad de N de 43.2% en EC y 41.1% en ESS. En el ciclo de invierno, el N disponible fue de 19.5% y 11.1% en EC y ESS, respectivamente.

¹ Universidad Juárez del Estado de Durango, Doctorado DICSRA, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Gómez Palacio, Durango

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Matamoros, Coahuila. E-mail: figueroa.uriel@inifap.gob.mx

Conclusión: El N disponible de ambos tipos de estiércol, EC y ESS, abasteció de manera suficiente a dos cultivos forrajeros. Los valores de NDE fueron similares en ambos tipos de estiércol cuando se estimó en ciclo de primavera-verano, pero en otoño-invierno el NDE fue mayor en el estiércol de corral.

Abstract

Introduction: The Comarca Lagunera, located in the states of Coahuila and Durango, Mexico, is the region with the highest milk production in the country. In this region, dairy farms with agricultural areas for the production of forage crops are common, where excessive rates of manure are applied to the soil and nitrate contamination of groundwater has been reported; therefore, it is important to generate information on the manure available nitrogen (MAN) in a system of two crops per year.

Method: A study was conducted with increasing doses of nitrogen (N), depending on the crop N requirement (CNR), using urea, corral manure (CM) and manure from the solid separator (SSM) as sources of N, in silage corn in spring and triticale in winter. The yield of the crops and the availability of N in both types of manure were evaluated.

Results: Silage corn dry matter yield was similar in all treatments, from 13.9 to 15.5 t·ha⁻¹, except in the 133% CNR with SSM, which had the lowest yield. In triticale, the differences in yield were not significant. In corn, the dose of 428.6 kg·ha⁻¹ of total N with CM and 449.6 kg·ha⁻¹ of total N with SSM, had the same extraction of N (N_{ex}) of 141.2 kg·ha⁻¹, equivalent to 185 kg·ha⁻¹ of N with urea fertilizer, which corresponds to 100% of the CNR. The above indicates an availability of N of 43.2% in CM and 41.1% in SSM. In the winter season, available N was 19.5% and 11.1% in CM and SSM, respectively.

Conclusion: Available N from both types of manure provided enough of this nutrient for two forage crops. Values of available N were similar in both types of manure when estimated in the spring-summer season, but in autumn-winter the MAN was higher in the CM.

Introducción

En los sistemas de producción animal se generan grandes cantidades de estiércol que ocasiona impactos ambientales negativos; no obstante, el uso de estiércol es cada vez más frecuente en la

agricultura por su efecto positivo sobre las propiedades del suelo, además de ser una fuente importante de nutrientes esenciales para los cultivos (Peralta *et al.*, 2016; Beltrán *et al.*, 2017). La Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango, México, es la región con mayor producción de leche en el país. Para 2017 la región contaba con 468,000 cabezas, de las cuales 49.3% estaban en lactancia (SAGARPA, 2017). Nennich *et al.* (2005) registraron que, en promedio, una vaca Holstein de 630 kg de peso vivo con una producción de $31.4 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ de leche, produce $2.6 \text{ t}\cdot\text{año}^{-1}$ de estiércol seco, el cual contiene 160 kg de N. De lo anterior, se puede estimar que, en la Comarca Lagunera, sólo las vacas en lactancia producen $599,888 \text{ t}\cdot\text{año}^{-1}$ de estiércol en materia seca (MS), que contiene $36,916 \text{ t}\cdot\text{año}^{-1}$ de N. En esta región son comunes las explotaciones lecheras con áreas agrícolas para la producción de cultivos forrajeros, donde puede ser reciclado el N contenido en el estiércol. En 2017 se sembraron 115,055 ha con cultivos forrajeros, lo que representó el 59% de la superficie agrícola total, destacando maíz, alfalfa y avena. (SAGARPA, 2017).

La práctica más común en la Comarca Lagunera con el manejo de estiércol es la aplicación de dosis que van de 100 a más de $200 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ al suelo sin algún tratamiento previo; adicionalmente se aplican fertilizantes convencionales, sin tomar en cuenta el requerimiento de N del cultivo (RNC) en función del rendimiento esperado, el N contenido en el suelo y en el estiércol (Figueroa-Viramontes *et al.*, 2009). Estudios previos han demostrado que es posible sustituir el fertilizante químico por estiércol y obtener rendimientos similares o superiores, como lo muestran los estudios de López *et al.* (2015), quienes obtuvieron rendimientos de materia seca de 15.4 y $15.0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ al fertilizar con el 100 % del RNC con fertilizantes inorgánicos y estiércol respectivamente, en un cultivo de maíz. Figueroa-Viramontes *et al.* (2010), en promedio de tres ciclos de maíz forrajero, registraron rendimientos de $18.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con el uso de estiércol y de $15.8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ con el uso de fertilizantes. Al sustituir el fertilizante convencional por estiércol se logró reducir de un 20 al 40% los costos de producción de forrajes (Fortis, 2009).

La tasa de mineralización o estimación del N disponible del estiércol es un dato importante para estimar dosis de aplicación. Motavalli *et al.* (1989) y López *et al.* (2015) han estimado la disponibilidad de N del estiércol mediante el método de “equivalencia de fertilizante”, obteniendo valores promedio de 32 y 31%, respectivamente, en un ciclo de cultivo. Sin embargo, son escasos los estudios sobre la disponibilidad de N del estiércol en un ciclo de otoño-invierno; Márquez (2006) estimó mediante el método de balance, un 15.1% del N

disponible en cultivo de avena forrajera. En los establos de la Región Lagunera se utilizan grandes cantidades de agua para lavar el estiércol excretado en las áreas de alimentación, de ahí el agua con estiércol va a un separador de sólidos; después, el agua residual se mezcla con agua de pozos de bombeo y se recicla en el riego de los cultivos, mientras que el estiércol formado por los sólidos separados se incorpora al suelo. No se encontró en la literatura información sobre la disponibilidad de N en este tipo de estiércol. Como hipótesis se plantea que la disponibilidad de N difiere en ambos tipos de estiércol. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar la disponibilidad de N proveniente de una sola aplicación de estiércol de corral y de separador de sólidos, durante dos ciclos de cultivo, maíz forrajero en primavera-verano y triticale en otoño-invierno.

Método

El estudio se realizó en la pequeña propiedad el Porvenir, localizada en el municipio de Francisco I. Madero, Coahuila, en la Comarca Lagunera, México, en las coordenadas 25°47'02" de latitud Norte y -103°18'42" de longitud Oeste. El clima es típico de las zonas áridas, con una precipitación anual de 243 mm y una temperatura media anual de 24° C. En la Figura 1 se presenta la precipitación y la variación térmica de mayo de 2015 a enero de 2016, periodo en el que se evaluaron los dos experimentos; en el ciclo de maíz, la precipitación fue de 65.6 mm, la media de temperaturas mínima y máxima fue de 21.8 y 31.4° C, respectivamente, mientras que en el ciclo de triticale, la precipitación fue de 59.6 mm y la media de temperaturas mínima y máxima fue de 10.1 y 26.2° C, respectivamente.

Durante el ciclo de primavera de 2015 se estableció un cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.) para evaluar dosis de estiércol y de fertilizante inorgánico. El suelo donde se estableció el experimento es de textura franco-arcillosa, con 56% de arcilla y 6% de arena, pH de 7.73, conductividad eléctrica de 1.33 dS·m⁻¹, materia orgánica de 1.8%, fósforo Olsen de 25.0 mg·kg⁻¹ y nitrógeno inorgánico (nitrato + amonio) de 30.8 mg·kg⁻¹.

Los tratamientos consistieron en dosis de N, estimadas para aportar el 67, 100 y 133 % del RNC, utilizando como fuente urea (46% de N), EC y ESS; en el Cuadro 1 se anota la composición nutrimental de los dos tipos de estiércol evaluados.

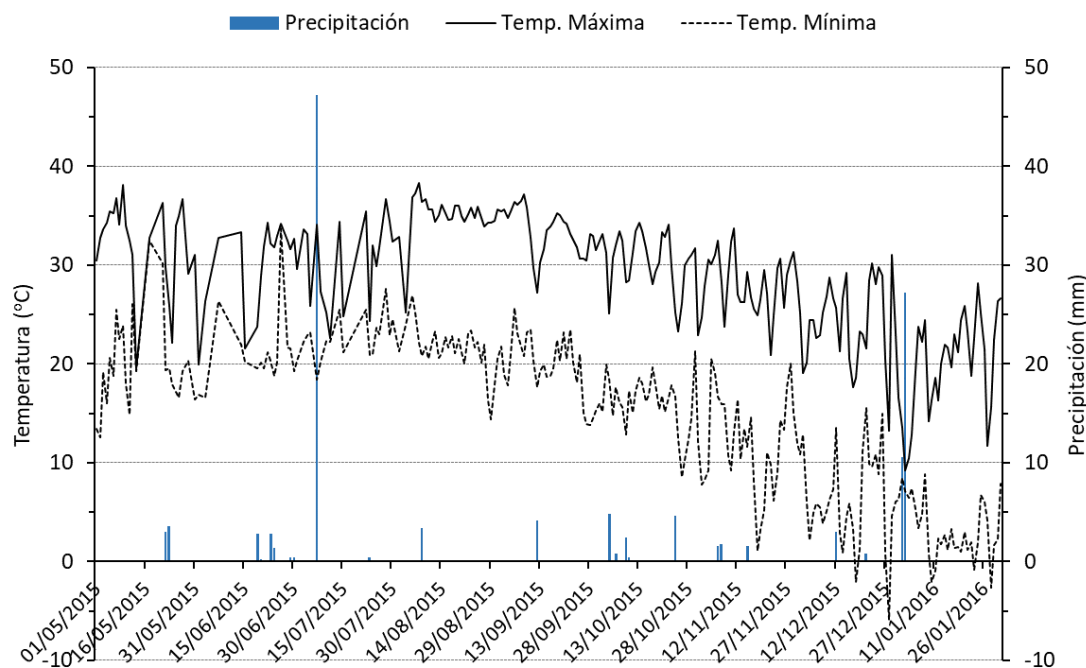


Figura 1. Temperaturas máxima, mínima y precipitación durante mayo de 2015 a enero de 2016, periodo que abarca los dos ciclos de cultivo evaluados

Cuadro 1. Análisis nutricional de los estiércoles evaluados. INIFAP, CENID-RASPA

Parámetro	Estiércol de corral	Estiércol de separador de sólidos
Humedad (%)	20.0	76.0
Nitrógeno total (%)	1.12	0.70
Carbono orgánico (%)	15.15	21.04
Relación C:N	13.5	30.1
Fósforo (%)	0.28	0.12
Potasio (%)	0.84	0.16
Calcio (%)	1.19	0.43
Magnesio (%)	0.33	0.10
Sodio (%)	0.19	0.08
Fierro (kg·ha ⁻¹)	3674	763
Cobre (kg·ha ⁻¹)	21	17
Manganeso (kg·ha ⁻¹)	43	30
Zinc (kg·ha ⁻¹)	152	51
Boro (kg·ha ⁻¹)	1	43

El 100% del RNC se estimó de acuerdo con la expresión (adaptado de López *et al.*, 2015):

$$\text{Dosis de N} = [(\text{MR} \times \text{N}_{\text{ex}}) / \text{Ef}] - \text{N}_i$$

Dónde MR es la meta de rendimiento, que se fijó en 15 ton·ha⁻¹ de MS; N_{ex} = Cantidad de N extraído por unidad de rendimiento (14 kg de N por t de MS, Figueroa *et al.*, 2010); Ef es la eficiencia de uso de N, en este caso se asumió en 0.7 kg·kg⁻¹ (Figueroa *et al.*, 2010); N_i es el N inorgánico del suelo (30.8 mg·kg⁻¹ a 0-30 cm de profundidad, que equivale a 116 kg·ha⁻¹ de N. Con los datos anteriores, la dosis de N para aportar el 100% del RNC fue de 185 kg·ha⁻¹.

Para estimar la dosis de estiércol que aporta el 100% del RNC (185 kg·ha⁻¹), se asumieron valores de tasa de mineralización de N (N_{min}) durante el primer año, de 50% en EC (NRCS, 2018) y 35% en ESS (Gale *et al.*, 2006); por lo tanto, la dosis de estiércol para aportar el 100% del RNC se estimó de acuerdo con la siguiente expresión (adaptado de Figueroa *et al.*, 2010):

$$\text{Dosis de estiércol (100\% del RNC)} = 185 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} / (\text{N}_t \times 10 \times \text{N}_{\text{min}}/100 \times \text{Ef}/100)$$

Donde 185 kg·ha⁻¹ es la dosis de N al 100% RNC; N_t es la concentración de N total en el estiércol (1.12% en EC y 0.7% en ESS, Cuadro 1); N_{min} es la tasa de mineralización de N durante el primer año: 50% en EC (NRCS, 2018) y 35% en ESS (Gale *et al.*, 2006); Ef es la eficiencia de uso del N mineralizado: 75% en ambos tipos de estiércol; los valores de 10 y 100 en la fórmula son constantes para transformación de unidades. Con los datos anteriores, la dosis de EC para aportar el 100% RNC fue de 44 t·ha⁻¹, y la de ESS fue de 100 t·ha⁻¹, ambos en peso seco. Los demás tratamientos se anotan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de nitrógeno y de estiércol aplicados con base en el requerimiento de nitrógeno del cultivo (RNC)

% del RNC	Dosis de N (kg·ha ⁻¹)	Urea (kg·ha ⁻¹)	Estiércol de corral (EC) (t·ha ⁻¹ peso seco)	Estiércol de separador de sólidos (ESS) (t·ha ⁻¹ peso seco)
67	124	270	29	67
100	185	402	44	100
133	247	537	58	134

RNC= Requerimiento de Nitrógeno del Cultivo

Ambos tipos de estiércol se aplicaron previo a la siembra de maíz, incorporándose al suelo con dos pasos de rastra. Posteriormente se aplicó el riego de presiembra. La siembra se realizó con sembradora de precisión, en suelo húmedo, el 6 de mayo; se utilizó el híbrido ABT6806 (Agribiotech, SA de CV), a una densidad de 8 plantas por m lineal y surcos a 76 cm de separación. Posterior a la siembra se aplicaron tres riegos de auxilio. En las parcelas con fertilización química, se aplicó urea (46% de N) y se fraccionó en los dos primeros riegos (30 y 70% de la dosis); el fósforo se aplicó todo en la siembra y se utilizó fosfato monoamónico (MAP, 52%) como fuente, a una dosis de $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 en todas las parcelas con fertilizante inorgánico.

Posterior a la cosecha de maíz, en el ciclo de otoño-invierno se sembraron las mismas parcelas experimentales con triticale (*x Triticosecale* Wittmack), con la finalidad de evaluar el rendimiento de forraje y la disponibilidad de N de la misma aplicación de estiércol previa al cultivo de maíz. La siembra del triticale se llevó a cabo en suelo seco el 22 de septiembre, con la variedad AN-105 (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), a una densidad de siembra de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla. Se realizó un riego de presiembra y tres riegos de auxilio.

Las unidades experimentales constaron de 10 m de ancho (12 surcos) por 20 m de largo. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

La cosecha de maíz forrajero se llevó a cabo el 11 de agosto; al momento de la cosecha del maíz se evaluó: altura de planta y rendimiento de forraje verde. En una muestra representativa de tres plantas por parcela, se estimó el porcentaje de materia seca, después de llevar la muestra a peso constante en una estufa de aire forzado a 65°C ; estas mismas muestras se molieron para determinar el N total por el método Kjeldahl (Jones, 2001). La extracción de N en cada tratamiento se obtuvo multiplicando el rendimiento de MS por la concentración de N.

En el caso de triticale, la cosecha se llevó a cabo el 26 de enero y se evaluó altura de planta y rendimiento de forraje verde. Se tomó una muestra representativa de aproximadamente 1.0 kg y se llevó a peso seco constante en estufa de aire forzado a 65°C , para calcular el porcentaje de materia seca y la concentración de N total de acuerdo con lo indicado por Jones (2001).

El N disponible del estiércol (NDE) se estimó de acuerdo con el método descrito por Motavalli *et al.* (1989) y Muñoz *et al.* (2004); para esto se obtuvieron ecuaciones de regresión entre dosis de N con fertilizante inorgánico o de N total con estiércol (eje x), y el N extraído por

el cultivo (eje y). El N disponible del estiércol resulta de dividir la dosis de N del fertilizante entre la dosis de N total del estiércol que producen el mismo valor de N extraído por el cultivo.

Se realizaron análisis de varianza y prueba de separación de medias por el método de Tukey ($p = 0.05$), empleando el paquete estadístico SAS System (SAS Institute, 2009).

Resultados y Discusión

Rendimiento de Maíz forrajero

Las diferencias en altura de planta entre tratamientos fueron no significativas, registrándose un promedio de 255 cm (Cuadro 3). Estos datos son superiores a los encontrados por Acosta *et al.* (2013), quienes obtuvieron alturas promedio de maíz de 214 a 203 cm, al emplear abonos orgánicos, y de 166 cm con fertilización inorgánica.

Cuadro 3. Altura de planta, rendimiento de forraje y extracción de nitrógeno en maíz forrajero, con diferentes fuentes y dosis de fertilización

Tratamiento	% del RNC	Altura de planta (cm)	Rendimiento forraje verde (t·ha⁻¹)	Rendimiento de materia seca (t·ha⁻¹)	Concentración de Nitrógeno (%)	Extracción de N (kg·ha⁻¹)
Urea	67	252	37.2 b	15.3 a	0.96	146.9 a
	100	257	39.9 b	15.5 a	0.89	138.0 a
	133	259	38.7 b	14.6 ab	0.95	138.7 a
Estiércol de corral	67	266	40.4 b	15.6 a	0.95	148.2 a
	100	253	37.8 b	14.1 ab	0.95	134.0 a
	133	258	38.1 b	14.9 ab	0.89	132.6 a
Estiércol de separador de sólidos	67	260	48.2 a	13.9 ab	0.94	130.7 a
	100	245	33.9 bc	14.4 ab	0.88	126.7 ab
	133	241	29.4 c	9.2 b	0.80	73.6 b

Cifras con diferente letra dentro de una misma columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). RNC= Requerimiento de Nitrógeno del Cultivo

El rendimiento de forraje en verde no mostró diferencias significativas entre las parcelas con urea y con EC, la media de estos tratamientos fue de 39.0 t·ha⁻¹. El caso de las parcelas con ESS, el tratamiento con 67% RNC tuvo el mayor rendimiento ($p < 0.05$), con 48.2 t·ha⁻¹, mientras que el tratamiento con 133% RNC con ESS obtuvo el menor rendimiento ($p < 0.05$), con 29.4 t·ha⁻¹ (Cuadro 3). Con respecto al rendimiento de forraje en materia seca (MS), todos los tratamientos mostraron diferencias no significativas (promedio de 14.8 t·ha⁻¹), con excepción del ESS al 133% RNC, el cual registró el rendimiento más bajo ($p < 0.05$), con 9.2 t·ha⁻¹ (Cuadro 2). Las pocas diferencias significativas entre fuentes de N pueden deberse a que los tratamientos fueron

diseñados para aportar la misma cantidad de N aprovechable por el cultivo. El menor rendimiento observado en las parcelas con ESS al 133% RNC pudo deberse a un incremento en la salinidad del suelo (Butler *et al.*, 2008), ya que por la baja concentración de N en este estiércol (Cuadro 1), se requirió una dosis de 134 t·ha⁻¹ en peso seco (558 t·ha⁻¹ en peso húmedo) para aportar 247 kg·ha⁻¹ de N (Cuadro 2).

La concentración de N en la planta no mostró diferencias significativas entre tratamientos; el promedio de todos los tratamientos fue 0.91% (Cuadro 3). La extracción de N fue menor ($p < 0.05$) en el tratamiento de 133% RNC con ESS, con un valor de 72.3 kg·ha⁻¹; en los demás tratamientos las diferencias fueron no significativas, registrándose un promedio de 137 kg·ha⁻¹ (Cuadro 3). Los resultados de rendimiento fueron similares a los encontrados por López *et al.* (2015), quienes registraron rendimientos entre 13.1 y 17.0 t·ha⁻¹ de MS con dosis de fertilizante inorgánico y estiércol en función del RNC. Otros autores (Ma *et al.*, 1999; Lithourgidis *et al.*, 2007) han encontrado un rendimiento significativamente mayor con estiércol, con respecto al fertilizante químico, a partir del tercer año en las mismas parcelas de evaluación. Al igual que en el presente estudio, Eghball y Power (1999), no encontraron diferencias significativas en rendimiento entre tratamientos de estiércol y fertilizante. Estos autores comentan que cuando las dosis de estiércol se establecen con base en el requerimiento de N del cultivo, es común no encontrar diferencias significativas con el uso del fertilizante químico, sobre todo en los primeros años. Lo anterior indica que es posible sustituir el fertilizante por una dosis equivalente de estiércol, estimada con base en los parámetros utilizados en el presente estudio.

Rendimiento de triticale

En altura de planta de triticale, las diferencias fueron no significativas, con una media de 78 cm en los diferentes tratamientos. Beltrán *et al.* (2016), reportaron una altura final de triticale entre 68 y 93 cm, al evaluar abonos orgánicos. Con respecto al rendimiento de triticale, cabe destacar que, con la misma aplicación de estiércol previa al ciclo de maíz, el rendimiento de forraje verde y forraje seco mostró diferencias no significativas entre tratamientos, 27.1 y 30.6 t·ha⁻¹ de forraje verde, y entre 9.8 y 12.0 t·ha⁻¹ de rendimiento en MS (Cuadro 4); los rendimientos anteriores son cercanos a la media regional (34.2 t·ha⁻¹ en los últimos 3 años; SIAP, 2018), y al no recibir fertilización, esta práctica contribuye a incrementar la eficiencia de uso de nitrógeno a nivel de

unidad de producción, además de reducir costos de producción y riesgos de contaminación del agua subterránea por nitratos.

El porcentaje de N en la planta mostró diferencias significativas, registrándose la concentración más alta ($p < 0.05$) en el tratamiento de 100% RNC con EC (0.99%), comparado con la dosis más baja de urea, EC y ESS (Cuadro 4). Las diferencias entre tratamientos en extracción de N por el cultivo fueron no significativas y se obtuvo una media de $98.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los resultados de porcentaje de N y rendimiento en el presente estudio son similares a los de Lithourgidis *et al.* (2006), quienes obtuvieron un rendimiento de $10.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de MS con una concentración de N 1.01%.

Cuadro 4. Altura de planta, rendimiento de forraje y extracción de nitrógeno en triticale, con diferentes fuentes de fertilización

Tratamiento	% del RNC	Altura de planta (cm)	Rendimiento forraje verde ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Rendimiento de materia seca ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Concentración de Nitrógeno (%)	Extracción de N ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
Urea	67	79 a	30.6 a	11.5 a	0.86 bc	98.9 a
	100	78 a	28.9 a	10.0 a	0.91 abc	91.0 a
	133	77 a	27.3 a	9.8 a	0.92 abc	90.2 a
Estiércol de corral	67	77 a	28.3 a	10.3 a	0.79 c	81.4 a
	100	76 a	27.3 a	12.0 a	0.99 a	118.8 a
	133	78 a	29.1 a	11.5 a	0.92 abc	105.8 a
Estiércol de separador de sólidos	67	81 a	27.4 a	11.5 a	0.80 c	92.0 a
	100	77 a	28.5 a	11.5 a	0.84 c	96.6 a
	133	77 a	27.1 a	11.3 a	0.98 ab	110.7 a

Cifras con diferente letra dentro de una misma columna, son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$). RNC= requerimiento de nitrógeno del cultivo

Estimación del nitrógeno disponible del estiércol (NDE)

Al graficar los datos de dosis de N y la extracción de N por el cultivo, se observó que en maíz forrajero, al incrementar la dosis de N con cualquiera de las fuentes evaluadas, la extracción de N tendió a disminuir, de acuerdo con el análisis de regresión (Figura 2). En el caso de triticale, al aumentar la dosis de fertilizante, la extracción de N por el cultivo también mostró una tendencia a disminuir, mientras que al aumentar la dosis de ambos tipos de estiércol, la extracción de N tiende a aumentar (Figura 3). Se utilizaron las ecuaciones de regresión para obtener el valor de extracción de N en la dosis de $185 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, que equivale a 100% RNC con urea; en este caso la extracción de N fue de $141.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Figura 3). De igual manera se calculó la dosis de ambos

tipos de estiércol para obtener el mismo valor de extracción de N (Figuras 3); los resultados fueron que con 428.6 y 449.6 kg·ha⁻¹ de N, con EC y ESS respectivamente, se obtiene 141.2 kg·ha⁻¹ de N extraído por el cultivo. El NDE en el estiércol se obtuvo dividiendo la dosis de N del fertilizante al 100% RNC (185 kg·ha⁻¹) entre las dosis anteriores de estiércol para obtener la misma extracción de N; en el presente estudio, el NDE en el ciclo de maíz fue de 43.2% en EC y 41.1% en ESS (Figura 1).

Para estimar el NDE durante el ciclo de otoño-invierno con triticale, a la dosis inicial de N con fertilizante o con estiércol se restó la extracción de N del cultivo de maíz (Cuadro 2). El N disponible al cultivo de triticale (Cuadro 5) representa solo parte del N aplicado; en el caso de los tratamientos con urea, la extracción fue mayor que el N disponible (Cuadro 5) porque el cultivo de triticale extrajo parte del N inorgánico residual del suelo. En triticale, el tratamiento al 100% RNC (47 kg·ha⁻¹) tuvo una extracción de N = 93.7 kg·ha⁻¹. Las dosis de estiércol para obtener la misma extracción fueron de 240.8 kg·ha⁻¹ de N con EC y de 425.3 kg·ha⁻¹ de N con ESS (Figura 3). Por lo tanto, el NDE en el durante el ciclo de otoño-invierno fue de 19.5% con EC y 11.1% con ESS (Figura 3).

Cuadro 5. Dosis de nitrógeno y cantidades de nitrógeno extraído por el maíz forrajero y disponible al cultivo de triticale

Tratamiento	% del RNC	N total aplicado al maíz forrajero (kg·ha ⁻¹)	N extraído por el maíz forrajero (kg·ha ⁻¹)	N disponible al cultivo de triticale (kg·ha ⁻¹)
Urea	67	124	147	0
	100	185	138	47
	133	247	139	108
Estiércol de corral (EC)	67	325	148	177
	100	493	134	359
	133	650	133	517
Estiércol de separador de sólidos (ESS)	67	469	131	338
	100	703	127	576
	133	937	74	863

RNC= Requerimiento de Nitrógeno del Cultivo

En general, la literatura reporta tasas de disponibilidad de N del estiércol (NDE) para el primer año después de la aplicación, pero la mayoría son experimentos que se realizan en un solo cultivo

al año. Muñoz *et al.* (2004) estimaron una disponibilidad de N del estiércol de 41% en un ciclo de maíz grano de 175 días, en Wisconsin, EUA, con el mismo método utilizado en este trabajo. El valor de NDE de 41 a 43% obtenido en el presente estudio corresponde a un ciclo de maíz forrajero de 95 días, en un clima más cálido (Figura 1); estos valores son superiores a los registrados por López *et al.* (2015), de 30.7% en un ciclo de maíz forrajero en esta misma región. Webb *et al.* (2013) mencionan que la mineralización del estiércol es muy variable y depende principalmente de la temperatura y del contenido de agua en el suelo; es por eso que la disponibilidad de N durante el ciclo otoño-invierno disminuye, por efecto de temperaturas más bajas (Figura 1).

Al comparar entre EC vs ESS, el NDE fue similar en primavera-verano, pero en otoño-invierno fue mayor en EC; lo anterior puede deberse a que el ESS tiene una relación C:N más alta (Cuadro 1), debido a que parte de la materia orgánica, disuelta y en suspensión, se pierde en el proceso de separación de sólidos (Gale *et al.*, 2006). No se encontraron estudios sobre el N residual disponible del estiércol en un ciclo de otoño-invierno, cuando se incorpora previo al ciclo de primavera. Este escenario es común en la Comarca Lagunera, México, donde se incorpora estiércol durante los meses de invierno (noviembre a febrero), para luego sembrar maíz forrajero en primavera y verano, seguido de un ciclo de avena forrajera en otoño-invierno (Figuroa *et al.*, 2015). En esta región se realizó un estudio donde se estimó una disponibilidad de N en el ciclo de otoño-invierno de 15.1% del N total del estiércol aplicado la primavera previa (Marquez, 2006). Es importante considerar el N disponible del estiércol en los ciclos de cultivo subsecuentes a la incorporación, para disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos, reducir riesgos de contaminación y contribuir a la sustentabilidad del sistema intensivo de producción forraje-leche.

Conclusiones

Una sola aplicación de estiércol de corral o del separador de sólidos, abasteció el N de manera suficiente a un cultivo de maíz forrajero en primavera-verano y uno de triticale en otoño-invierno. En general, los rendimientos de forraje fueron similares al utilizar estiércol o fertilizante. El N disponible al cultivo fue similar en ambos tipos de estiércol durante el ciclo de primavera-verano, con valores de 41 y 43% del N total aplicado para EC y ESS respectivamente. En el ciclo de otoño-invierno, el NDE fue de 19.5% en EC y de 11.1% en ESS.

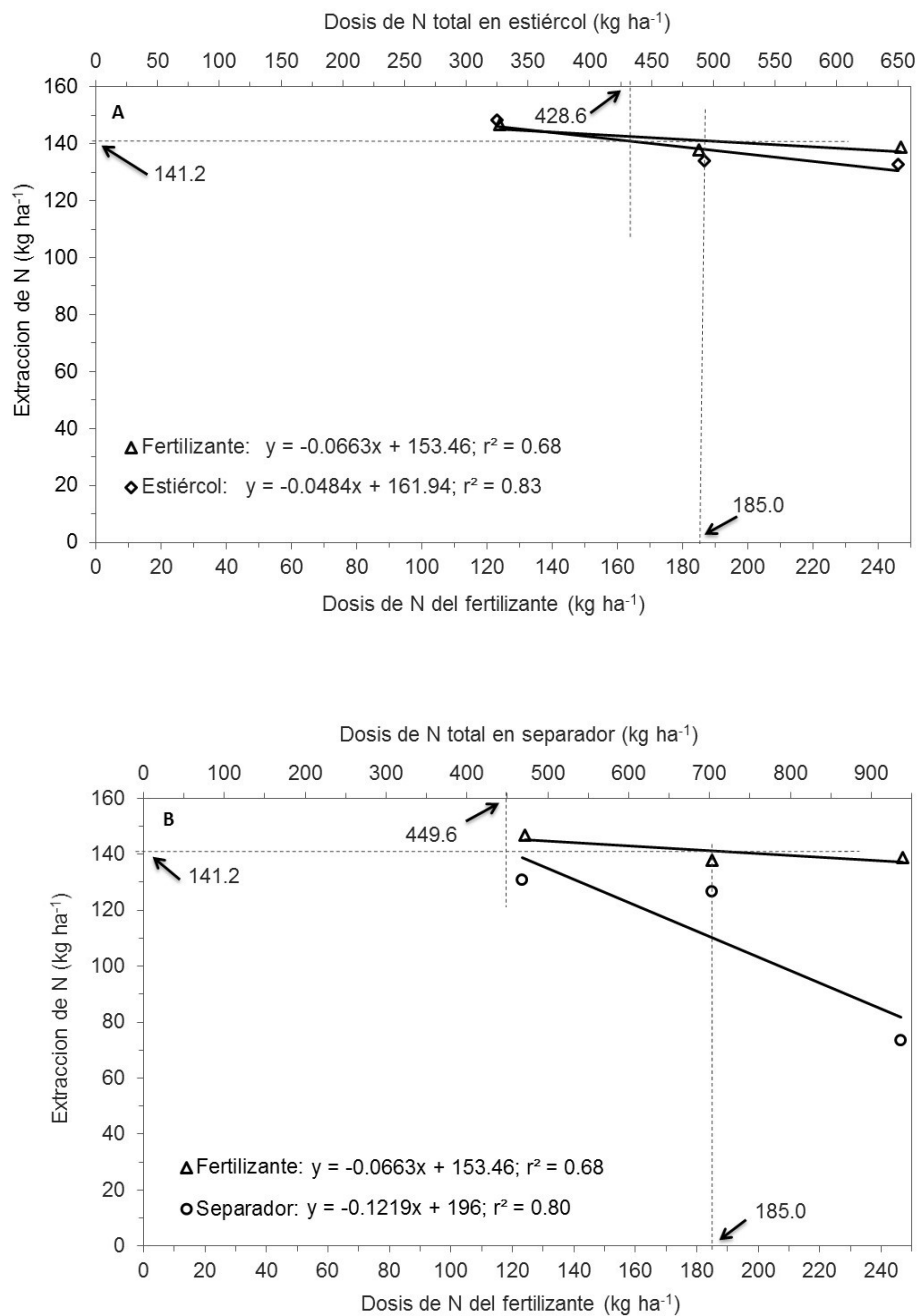


Figura 2. Extracción de nitrógeno en el cultivo de maíz forrajero (ciclo primavera-verano), con diferentes dosis de nitrógeno utilizando como fuentes urea, estiércol de corral (A) y estiércol de separador de sólidos (B)

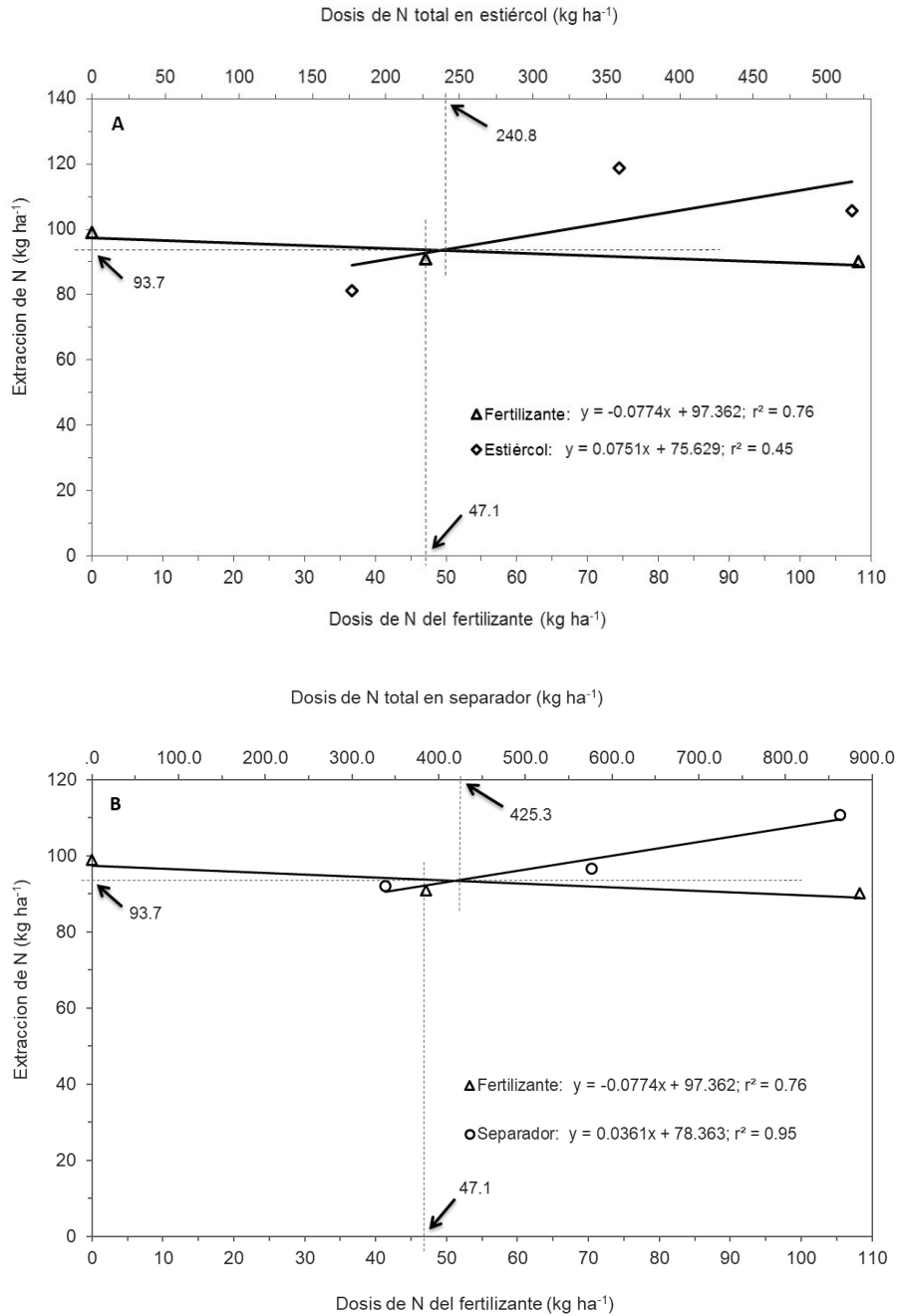


Figura 3. Extracción de nitrógeno en el cultivo de triticale (ciclo otoño-invierno), con cantidades residuales de urea, estiércol de corral (A) y estiércol de separador de solidos (B), aplicados previo al cultivo de maíz forrajero en primavera-verano

Agradecimientos

Reconocemos el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria (INIFAP) y a la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (FAZ-UJED).

Referencias

- Acosta, J. M., Hurtado, A. B., Arango, O. B., Álvarez, D. S., & Salazar, C. G. (2013). Efecto de abonos orgánicos a partir de subproductos del fique en la producción de maíz. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11, 94-102. <http://revistabioteologia.unicauca.edu.co/revista/index.php/bioteologia/article/view/282/237>
- Beltrán, S. M. A., Álvarez, F. G., Pinos, R. J. M., García, L. J. C., & Castro, R. R. (2017). Abonos obtenidos del compostado de heces de ganado bovino de leche vs fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 49, 95-104. <http://www.scielo.org.ar/pdf/refca/v49n1/v49n1a08.pdf>
- Butler, T.J., Han, K.J., Muir, J.P., Weindorf, D.C. & Lastly, L. 2008. Dairy manure compost effects on corn silage production and soil properties. *Agronomy Journal* 100:1541-1545. doi:10.2134/agronj2008.0033
- Eghball, B. & Power, J.F (1999). Phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 895-901. <https://naldc.nal.usda.gov/download/17092/PDF>
- Figueroa-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Delgado, J.A., Cueto-Wong, J.A., & Flores-Márquez, J.P. (2009). Estimación de la producción de estiércol y de la excreción de nitrógeno, fósforo y potasio por bovino lechero en la Comarca Lagunera, México. *Agricultura Orgánica*. FAZ-UJED. SMCS. https://www.researchgate.net/publication/270340128_Estimacion_de_la_produccion_de_estiercol_y_de_la_excrecion_de_nitrogeno_fosforo_y_potasio_por_bovino_lechero_en_la_Comarca_Lagunera.
- Figueroa-Viramontes, U., Cueto-Wong, J.A., Delgado, J.A., Núñez-Hernández, G., Retasánchez, D.G., Quiroga-Garza, M., Faz-Contreras, R. & Márquez-Rojas, J.L. (2010).

- Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. *Terra Latinoamericana* 28:361-369.
<http://www.redalyc.org/pdf/573/57318502008.pdf>
- Figueroa-Viramontes, U., Núñez-Hernández, G., Reta-Sánchez, D.G. & Flores-López, H.E. (2015). Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6, 377-392.
<http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v6i4.4099>
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J.A., Orona-Castillo, I., García-Hernández, J.L., Salazar-Sosa, E., Preciado-Rangel, P., Arnaldo-Orozco, V.J. & Segura-Castruita, M.A. (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.
- Gale, E.S., Sullivan, D.M., Cogger, C.G., Bary, A.I., Hemphill, D.D., & Myhre, E.A. (2006). Estimating Plant-Available Nitrogen Release from Manures, Composts, and Specialty Products. *J. Environ. Qual.* 35:2321-2332. doi:10.2134/jeq2006.0062
- Jones, J.B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis.* CRC Press. New York, NY, USA. 363 p.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I.B., Dhima, K.V., Dordas, C.A. & Yiakoulaki, M.D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research* 99 (2006) 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>
- Lithourgidis, A. S., Matsi, T., Barbayiannis, N. & Dordas, C.A. (2007). Effect of liquid cattle manure on corn yield, composition, and soil properties. *Agron. J.* 99: 1041-1047.
<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0332>
- López-Calderón, M.J., Figueroa-Viramontes, U., Fortis-Hernández, M., Núñez-Hernández, G., Ochoa-Martínez, E. & Sánchez-Duarte, J.I. (2015). Evaluación de dosis equivalentes de fertilizante y estiércol en la producción de maíz forrajero (*Zea mays*). *Revista Internacional de Botánica Experimental (Phyton)* 84(1), 8-13.
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185156572015000100003&lng=es&tlng=es.](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185156572015000100003&lng=es&tlng=es)

- Ma, B. L., Dwyer, L.M., & Gregorich, E.G. (1999). Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize. *Agronomy Journal*. 91: 650-656. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1999.9161003x>
- Márquez, R.J.L. 2006. Estimación de la mineralización de nitrógeno en estiércol de bovino lechero y producción de cultivos forrajeros. Tesis de Doctorado en Ciencias. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*. Torreón, Coahuila. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7586>. Consultada el 17/01/2018.
- Motavalli, P.P., K.A. Kelling, & 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, K.A., Powell, J.M & Speth, P.E. (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. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2004.0719>
- 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 & E. Block. (2005). Prediction of manure and nutrient excretion dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88:3721-3733. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)73058-7](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)73058-7)
- NRCS (2018). Natural Resources Conservation Service, USDA. Agricultural Waste Management Field Handbook. Chapter 11: waste utilization. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?&cid=stelprdb1045935>. Consultada el 10/01/2018.
- Peralta, V. L., Juscamaita, M. J., & Meza, C. V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15, 1-10. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i1.577>.
- SAS Institute. 2009. SAS Version 9.6. Cary, NC.
- SAGARPA. (2017). Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *Atlas Agroalimentario 2017*. <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/#p=12>. Consultada el 15/01/2018.
- SEMARNAT. (2000). Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. *Secretaría de Medio*

Ambiente y Recursos Naturales. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. Consultado el 10/01/2018.

SIAP. 2018. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Estadística de producción agrícola. Datos abiertos. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php. Consultado el 01/10/2018.

Webb, J., Sorensen, P., Velthof, G., Amon, B., Pinto, M., Rodhe, L., Salomon, E., Hutchings, N., Burczyk, P. & Reid, J. (2013). An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure-N efficiency. *Advances in Agronomy*. 119:371–442. <https://doi:10.1016/B978-0-12-407247-3.00007-X>