

RENDIMIENTO DE MAÍZ FORRAJERO EN RESPUESTA A FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y DENSIDAD DE POBLACIÓN

YIELD OF FORAGE MAIZE IN RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION AND PLANT DENSITY

José Antonio Cueto Wong^{1*}, David Guadalupe
Reta Sánchez², José Luis Barrientos Ríos³,
Guillermo González Cervantes¹
y Enrique Salazar Sosa⁴

¹Centro Nacional de Investigación-RASPA, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Apdo. Postal 41. 35150, Cd. Lerdo, Dgo. ²Campo Experimental La Laguna, Centro de Investigaciones del Noroeste, INIFAP. Apdo. Postal 247. 27000, Torreón, Coah. ³Instituto Tecnológico Agropecuario de Torreón. Km. 7.5, Carr. Torreón-San Pedro, Ejido Anna, Torreón, Coah. ⁴Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Domicilio Conocido. Ej. Venecia. Apdo. Postal 1-142. Gómez Palacio, Dgo.

*Autor para correspondencia (cueto.jose@inifap.gob.mx)

RESUMEN

En este estudio se determinó el efecto de la densidad de población y dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y eficiencia de uso de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.) forrajero durante el ciclo de verano en la Comarca Lagunera, México, mediante dos experimentos, uno en 1998 y otro en 1999. Se estudiaron tres dosis de fertilización nitrogenada (125, 250 y 375 kg ha⁻¹) y cinco densidades de población (9.0, 12.0, 15.0, 18.0 y 21.0 plantas/m² en 1998; y 8.5, 11.0, 13.5, 16.0 y 18.5 plantas/m² en 1999). Se midió el rendimiento de materia seca (MS), concentración y extracción de nitrógeno (N) y eficiencia de uso del N. Densidades superiores a 9.0 plantas/m² no incrementaron significativamente el rendimiento de MS. La eficiencia de uso del N fue mayor en la dosis de 125 kg N ha⁻¹ debido a un mejor aprovechamiento del N disponible en el suelo, el cual fue suficiente para lograr una extracción de 139 a 201.8 kg N ha⁻¹ y permitir la obtención de un rendimiento similar al producido con 250 kg N ha⁻¹. La aplicación de 375 kg N ha⁻¹ incrementó el rendimiento de MS entre 11.8 y 17.5 %, pero redujo la eficiencia de uso de N.

Palabras clave: *Zea mays*, materia seca, eficiencia de uso de N, extracción de N.

SUMMARY

In this study we determined the effect of plant density and nitrogen rates on forage maize yield and nitrogen use efficiency during the Summer season at the Comarca Lagunera, México, through two field

experiments, one in 1998 and the other in 1999. Treatments consisted of three nitrogen rates (125, 250 and 375 kg ha⁻¹) and five plant densities (9, 12, 15, 18 and 21 plants/m² in 1998; and 8.5, 11.0, 13.5, 16.0, and 18.5 plants/m² in 1999). Dry matter (DM) yield, N concentration, N uptake and N use efficiency were determined. Plant densities higher than 9.0 plants/m² did not significantly increase DM yield. Nitrogen use efficiency was highest at 125 kg N ha⁻¹, due to a better use of soil available N; the application of 125 kg N ha⁻¹ plus the available N at planting was enough for a N uptake between 139 and 201.8 kg N ha⁻¹, and for obtaining a similar yield than with 250 kg N ha⁻¹. Nitrogen rate of 375 kg N ha⁻¹ increased DM yield between 11.8 and 17.5 %, but decreased N use efficiency.

Index words: *Zea mays*, dry matter, N use efficiency, N uptake

INTRODUCCIÓN

En la Comarca Lagunera de México, la producción de leche de bovino es la principal actividad agropecuaria, y demanda una gran cantidad de forraje de calidad. En 2004 se sembraron en la región 89 076 ha de cultivos forrajeros, entre los cuales el maíz (*Zea mays* L.) ocupó el segundo lugar en importancia con 26 539 ha y un rendimiento promedio de 49 t ha⁻¹ de forraje verde (17 t ha⁻¹ de materia seca). El ensilaje de maíz es sumamente importante en la dieta del ganado debido a su alto contenido de energía (Goodrich y Meiske, 1985). El desarrollo de tecnología para incrementar el rendimiento unitario y la calidad del forraje de maíz permitiría incrementar la proporción de ensilaje de maíz de calidad en las raciones del ganado y reducir los costos de producción de leche.

Dos factores determinantes del rendimiento y calidad del maíz forrajero son la densidad de población (Reta *et al.*, 2000) y la dosis de fertilización nitrogenada (Muchow, 1988). La importancia de precisar la demanda de N radica en incrementar la eficiencia en el uso del N sin hacer aplicaciones excesivas que aumenten el riesgo de contaminación por lixiviación de nitratos (Cox *et al.*, 1993).

En maíz es posible incrementar el rendimiento de materia seca y grano por hectárea con aumentos en la densidad de plantas y uso de genotipos con tolerancia a altas densidades (Tetio-Kagho y Gardner, 1988; Tollenaar, 1989). En la Comarca Lagunera, Reta *et al.* (2000) aumentaron el rendimiento de materia seca con densidades de población superiores a la densidad tradicional (7.0 a 8.0 plantas/m²), pero la ganancia varió de acuerdo con las condiciones ambientales; la mayor respuesta en rendimiento de materia seca se obtuvo con 11.2 plantas/m² en siembras de primavera y 8.6 plantas/m² en siembras de verano, y sin afectar significativamente el índice de cosecha al aumentar la densidad de población hasta 15.5 plantas/m². Sin embargo, un mayor rendimiento unitario de materia seca implica necesariamente una mayor demanda de nitrógeno.

Los suelos en zonas áridas como los de la Comarca Lagunera son bajos en materia orgánica y nitrógeno disponible en forma natural, por lo que todos los cultivos requieren la aplicación de fertilizante nitrogenado en cantidad suficiente y oportuna. Una baja aplicación de N disminuye la producción de materia seca al reducir el desarrollo y duración del follaje y la eficiencia fotosintética del área foliar (Muchow, 1988). Por el contrario, el uso de altas dosis de N puede incrementar el rendimiento de materia seca y proteína cruda (Cox *et al.*, 1993; Cox y Chorney, 2001; Soto *et al.*, 2002), pero también incrementa el riesgo de lixiviación de nitratos por debajo de la zona radical del cultivo (Cox *et al.*, 1993) y reduce la eficiencia en el uso del nitrógeno (Soto *et al.*, 2002). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la densidad de población y dosis de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y eficiencia de uso del nitrógeno en maíz forrajero durante el ciclo de verano en la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hicieron dos experimentos en terrenos del Campo Experimental La Laguna del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Matamoros, Coahuila, México (25° 32' LN, 103° 14' LO y 1150 msnm). El primer experimento se sembró el 10 de julio de 1998 y el segundo el 16 de julio de 1999, ambos en suelo húmedo. El suelo experimental a una profundidad de 0-30 cm presentó una textura arcilla francosa, pH de 8.7 y conductividad eléctrica de 0.9 dS m⁻¹. El contenido de carbonatos totales fue 10.2 % y 0.8 % de materia orgánica. Al inicio del experimento de 1998 se tenía una disponibilidad estimada de 82 kg ha⁻¹ de N, mientras que al inicio del experimento de 1999, la disponibilidad estimada de N en las parcelas con dosis de 125, 250 y 375 kg N ha⁻¹ fue de 30.6, 34.8 y 43.6 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

Se evaluaron 15 tratamientos generados a partir de tres dosis de fertilización nitrogenada (125, 250 y 375 kg N ha⁻¹) en combinación con cinco densidades de población; en 1998 las densidades de población fueron 9, 12, 15, 18 y 21 plantas/m²; y en 1999 fueron 8.5, 11.0, 13.5, 16.0 y 18.5 plantas/m². El genotipo utilizado fue el híbrido '3025W' (Pioneer), de ciclo intermedio, altura intermedia, hojas erectas y alto potencial de rendimiento. Los tratamientos fueron distribuidos en un arreglo factorial de 3 x 5, bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental consistió de 10 surcos (0.90 m de separación) sembrados con doble hilera de plantas (0.30 m de separación) y 8 m de longitud. La parcela útil fueron dos surcos de 6 m de longitud en el centro de cada parcela experimental (10.8 m²).

Antes de la siembra se aplicó la mitad del nitrógeno de cada dosis evaluada y una dosis de 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Antes del primer riego de auxilio se completaron las dosis de N. En 1998 se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 26, 53, 69 y 84 d después de la siembra (dds), mientras que en 1999 los riegos se aplicaron a los 29, 45, 57, y 74 dds. En el primer año se utilizó sulfato de amonio como fuente de N y fosfato monoamónico como fuente de N y fósforo en la siembra, respectivamente. En el segundo año se empleó como fuente de N la urea y para el fósforo el superfosfato de calcio triple. Se hizo una escarda mecánica antes del primer riego de auxilio. El control de plagas se hizo durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo mediante tres aplicaciones de insecticidas; a los 22 dds se aplicó Clorpirifós 480 CE® en dosis de 1 L ha⁻¹ para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y Malation 1000E® en dosis de 1 L ha⁻¹, para el control de Diabrotica (*Diabrotica* spp) y pulga saltona (*Chaecotone-ma* spp). Posteriormente, a los 62 dds se aplicó Ometoato 1000 CE® en dosis de 0.5 L ha⁻¹ para el control de araña roja (*Tetranychus* spp).

La cosecha se hizo cuando el grano se encontraba en un tercio de la línea de leche. Se determinó el rendimiento de materia seca, rendimiento de grano e índice de cosecha. Las mazorcas de la parcela útil fueron desgranadas para determinar el peso de grano (14 % de humedad), lo cual permitió determinar el índice de cosecha (IC) en kilogramo de grano por kilogramo de materia seca total del vástago. El porcentaje de materia seca y el contenido de N en la materia seca se determinó en cinco plantas muestreadas al azar en cada parcela, las cuales se secaron en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60 ° C hasta peso constante, y después se molieron en un molino Wiley con malla de 1 mm. El contenido de N en la materia seca se determinó con el procedimiento de Kjeldahl (Bremner, 1996). El total de N acumulado en la parte aérea del cultivo (N extraído) se estimó al multiplicar el total de materia seca acumulada por unidad de superficie por el contenido de N. La eficiencia de uso de N se determinó al dividir el rendimiento de materia seca por unidad de superficie entre el total de N extraído y el N aplicado en la misma superficie.

Los datos se analizaron con el programa estadístico SAS (SAS Inst., 1985), mediante el procedimiento de análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental utilizado ($P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia seca, grano e índice de cosecha

En los dos años de evaluación se encontró diferencia significativa para la dosis de N en el rendimiento de materia seca, mientras que el rendimiento de grano e índice de cosecha no fueron afectados significativamente al aumentar la dosis de nitrógeno de 125 a 375 kg N ha⁻¹. En 1998, los mayores rendimientos de materia seca se obtuvieron en las dosis de 250 y 375 kg N ha⁻¹, y la mayor dosis de nitrógeno superó significativamente a 125 kg N ha⁻¹. En 1999, la dosis de nitrógeno de 375 kg ha⁻¹ superó en rendimiento de materia seca a las dosis de 125 y 250 kg N ha⁻¹, y entre éstas no hubo diferencia significativa (Cuadro 1). No hubo efecto significativo para la interacción entre factores.

No se encontró diferencia significativa para densidades de población en el rendimiento de materia seca en ambos años de evaluación, lo que indica que el uso de densidades superiores a 9.0 plantas/m² en siembras de verano no incrementaron el rendimiento (Cuadro 1); en forma similar, Reta *et al.* (2000) consignaron que la mayor respuesta en rendimiento de materia seca en verano se obtuvo a 8.6 plantas/m² en la Comarca Lagunera.

El índice de cosecha (IC) del maíz es determinante en la calidad de forraje, porque el contenido de grano en el forraje guarda una estrecha relación con la digestibilidad total del forraje (Cox *et al.*, 1994). El incremento de la densidad de población puede reducir la calidad del forraje al reducir el IC (Pinter *et al.*, 1990). Sin embargo, existen híbridos de maíz que no disminuyen su IC al elevar la den-

sidad de 10 a 12 plantas/m² (Karlen y Camp, 1985). En este estudio, aunque el rendimiento de grano en 1999 se redujo al aumentar la densidad a 16.0 y 18.5 plantas/m², el IC no fue afectado significativamente por tales aumentos en densidad (Cuadro 1). Resultados similares fueron encontrados por Reta *et al.* (2000) en otro trabajo realizado en la Comarca Lagunera, en el que evaluaron densidades de población de 5.5 a 15.5 plantas/m².

Concentración y extracción de nitrógeno

Se detectó diferencia significativa en concentración y extracción de nitrógeno entre dosis de N, mientras que en densidades de población no la hubo. En los dos años del estudio el incremento de la dosis de N de 125 a 250 kg ha⁻¹ provocó un aumento en la concentración de N en la materia seca total, pero la dosis mayor de N no superó a la dosis intermedia (Cuadro 2).

Las mayores concentraciones de N registradas en la dosis de 250 kg N ha⁻¹, son similares a las concentraciones críticas de N (CNC) encontradas en otros estudios, los cuales varían de 10.4 a 10.5 g N kg⁻¹ de MS (Plénet y Lemaire, 1999; Herrmann y Taube, 2005). En estos trabajos se considera que un valor de CNC de 10.5 g N kg⁻¹ de MS está relacionado con altos rendimientos de materia seca (24 a 25 t ha⁻¹), y que para ello se requieren de 100 a 180 kg N ha⁻¹, en función de la disponibilidad de este nutrimento en el suelo. En el presente estudio, el mayor rendimiento de materia seca se obtuvo cuando la concentración de N alcanzó valores de 11.0 a 11.1 g N kg⁻¹ de MS (Cuadro 2).

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca, rendimiento de grano e índice de cosecha de maíz en función de tres dosis de nitrógeno y cinco densidades de población durante los ciclos de verano 1998 y 1999. Matamoros, Coahuila, México.

Factor	Materia seca	Grano	Índice de cosecha
	(kg ha ⁻¹)		
1998			
Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹)			
125	21 409 b [‡]	7 074 a	0.33 a
250	22 103 ab	7 505 a	0.34 a
375	23 929 a	7 801 a	0.33 a
Número de plantas/m²			
9.0	21 631 a	7 693 a	0.36 a
12.0	22 308 a	7 446 a	0.33 a
15.0	22 799 a	7 454 a	0.33 a
18.0	21 847 a	7 068 a	0.32 a
21.0	23 817 a	7 639 a	0.32 a
1999			
Dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹)			
125	15 764 b [‡]	5 263 a	0.34 a
250	15 657 b	5 260 a	0.35 a
375	18 525 a	5 606 a	0.31 a
Número de plantas/m²			
8.5	17 344 a	6 241 a	0.36 a
11.0	17 291 a	5 587 ab	0.34 a
13.5	15 907 a	5 167 ab	0.34 a
16.0	15 561 a	4 909 b	0.33 a
18.5	17 141 a	4 977 b	0.29 a

[‡] Medias con la misma letra en cada columna en una variable y dentro de cada año de evaluación, son significativamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 2. Concentración, extracción y eficiencia de uso de nitrógeno a la cosecha de forraje de maíz en función de tres dosis de nitrógeno durante los ciclos de verano 1998 y 1999. Matamoros, Coahuila, México.

Dosis de N	Año	N (g kg ⁻¹ MS [†])	Extracción de N (kg ha ⁻¹)	kg de MS por	
				kg de N extraído	kg de N aplicado
125	1998	9.42 b ‡	201.8 b	108.6 a	171.3 a
250		11.00 a	244.0 a	91.8 b	88.4 b
375		11.20 a	267.4 a	90.8 b	63.8 c
125	1999	8.81 b	139.7 b	114.7 a	128.5 a
250		10.70 a	167.8 b	94.9 b	61.5 b
375		11.10 a	207.1 a	91.3 b	48.2 c

‡ Medias con la misma letra en cada columna dentro de cada año de evaluación, son significativamente iguales (Tukey, 0.05). † MS = materia seca.

El aumento de la dosis de nitrógeno de 125 a 375 kg ha⁻¹ provocó incrementos significativos en la extracción de N. En 1998, el aumento de la dosis de N de 125 a 250 kg ha⁻¹ incrementó significativamente la extracción de N (20.9 %), lo cual se relacionó tanto al aumento en la concentración del nutrimento como a una mayor producción de materia seca. En 1999, sólo con la dosis de 375 kg N ha⁻¹ se incrementó la extracción de N respecto a 125 y 250 kg N ha⁻¹ (Cuadro 2); en este ciclo el principal factor involucrado en la mayor extracción de N fue el aumento de la producción de materia seca obtenido en la dosis de 375 kg N ha⁻¹. Las cantidades de N extraído en el primer año fueron similares a las extracciones de N encontradas en otros estudios hechos en EE. UU. (220 a 240 kg N ha⁻¹) con rendimientos de materia seca entre 20 000 y 24 000 kg ha⁻¹ (Muchow y Davis, 1988; Cox y Cherney, 2001).

En el presente estudio la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada fue distinta en los dos ciclos de evaluación, en términos de rendimiento de materia seca y cantidad de N extraído del suelo. De acuerdo con la concentración de N en la materia seca, que en los dos años alcanzó valores cercanos al nivel crítico (10.5 g N kg⁻¹ de MS) reportado en otros estudios (Plénet y Lemaire, 1999; Herrmann y Taube, 2005), los datos sugieren que la disminución del rendimiento de materia seca en el segundo año se debió más a otros factores del ambiente como la alta temperatura, que a factores relacionados con el uso de la fertilización nitrogenada. Las altas temperaturas (> 34 °C) en maíz reducen el ciclo de crecimiento y el rendimiento, a pesar de disponer de altos niveles de radiación (Muchow *et al.*, 1990); en casos extremos las plantas de maíz reducen significativamente su altura al ser expuestas constantemente a temperaturas mayores de 37 °C. El ciclo de 1999 se caracterizó por temperaturas altas, con máximas promedio de 33.7 a 36.4 °C de julio a septiembre, en comparación de 1998 cuando las máximas fueron de 31.6 a 35.8 °C para el mismo periodo.

Eficiencia de uso del nitrógeno

En los dos años del estudio sólo la dosis de N hasta 375 kg ha⁻¹ aumentó significativamente el rendimiento de materia seca con respecto a la dosis de 125 kg N ha⁻¹ (11.77 a 17.5 %) (Cuadro 1), pero ello no implica que la dosis de N más adecuada sea la de 375 kg ha⁻¹, ya que es necesario considerar la máxima cantidad de N extraída, el N disponible en el suelo y el N perdido durante el ciclo. En este estudio, la cantidad de N extraído en la dosis de 125 kg N ha⁻¹ superó a la cantidad de N aplicado, lo cual indica que una parte del N acumulado en la planta provino del N disponible en el suelo al inicio de cada experimento. En contraste, la cantidad de N aplicado en la mayor dosis evaluada (375 kg ha⁻¹) superó a la cantidad de N acumulada en la planta, por lo que una proporción importante no fue aprovechada por el cultivo, lo que redujo la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante nitrogenado aplicado (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los encontrados por Soto *et al.* (2002) al aplicar en maíz dosis entre 150 y 450 kg N ha⁻¹. Asimismo, la baja eficiencia de uso del N aplicado en la mayor dosis sugiere un incremento en los riesgos de contaminación del subsuelo por nitratos, como lo indican Cox *et al.* (1993) al encontrar cantidades significativas de nitratos residuales en el suelo en las dosis de 140 y 225 kg N ha⁻¹.

En los dos años hubo diferencia significativa en la eficiencia de uso del nitrógeno, medida en términos de kg de MS por kg de N extraído. La mayor eficiencia se obtuvo con la dosis de 125 kg N ha⁻¹ (108.6 a 114.7 kg de MS kg⁻¹ de N extraído), en comparación con 250 y 375 kg N ha⁻¹ (90.8 a 94.9 kg de MS kg⁻¹ de N extraído) (Cuadro 2). Una mayor eficiencia de utilización del N absorbido cuando el cultivo tiene menor disponibilidad y menor extracción de N (menores dosis de N), también ha sido reportada en otros estudios (Cox y Cherney, 2001). En estas condiciones la planta acumula menor cantidad de N en sus tejidos, como se puede observar en un menor contenido de nitrógeno en dosis bajas (Cuadro 2), y probablemente presenta mayor removilización de N de órganos vegetativos hacia la mazorca durante la formación y llenado del grano, respecto a tratamientos con mayor disponibilidad de N (Uhart y Andrade, 1995). En los tratamientos con dosis altas de N (250 y 375 kg N ha⁻¹) la eficiencia de utilización de N se redujo significativamente debido a que el N adicional extraído no contribuyó significativamente a una mayor producción de materia seca, y sólo se reflejó en mayor contenido de N en el forraje.

Cuando se midió la eficiencia de uso del N en términos de MS por kilogramo de N aplicado, también se obtuvo una mayor eficiencia con 125 kg N ha⁻¹, en comparación con las dosis de 250 y 375 kg N ha⁻¹. Se considera

entonces que hubo una mejor utilización del N disponible en el suelo en 125 kg N ha⁻¹, dosis que fue suficiente en ambos años porque logró producir un rendimiento similar al de la dosis de 250 kg N ha⁻¹. Si bien sólo con la dosis de 375 kg N ha⁻¹ el rendimiento de MS aumentó significativamente, la eficiencia de uso del N aplicado disminuyó, sobre todo en 1999 (Cuadro 2) cuando el rendimiento de materia seca fue menor.

CONCLUSIONES

El uso de densidades superiores a 9.0 plantas/m² no incrementó significativamente el rendimiento de materia seca (MS) ni modificó el índice de cosecha del maíz. En la respuesta a las dosis de fertilización nitrogenada, la mayor eficiencia de uso del N se encontró en 125 kg ha⁻¹ debido a un mejor aprovechamiento del N disponible en el suelo, y dicha dosis fue suficiente para complementar la extracción de N en 125 kg N ha⁻¹ (139 a 201.8 kg ha⁻¹) y obtener un rendimiento similar al de la dosis de 250 kg N ha⁻¹. En la dosis de 250 kg N ha⁻¹, el aumento en la extracción de N (167.8 a 244 kg N ha⁻¹) sólo incrementó el contenido de nitrógeno en el forraje. La dosis de N de 375 kg ha⁻¹ aumentó significativamente el rendimiento de materia seca respecto a 125 kg N ha⁻¹ (11.77 a 17.5 %), pero redujo la eficiencia de uso del N.

BIBLIOGRAFÍA

- Bremner J M (1996)** Nitrogen-total. *In: Methods of Soil Analysis: Part 3.* Sparks D L (ed). SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. pp:1085-1121.
- Cox W J, D J R Cherney (2001)** Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agron. J.* 93:597-602.
- Cox W J, J H Cherney, D J R Cherney, W D Pardee (1994)** Forage quality and harvest index of corn hybrids under different growing conditions. *Agron. J.* 86:277-282.
- Cox W J, S Kalonge, D J R Cherney, W S Reid (1993)** Growth, yield, and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.
- Goodrich R D, J C Meiske (1985)** Corn and sorghum silages. *In: Forages. The Science of Grassland Agriculture.* M E Heath, R F Barnes, D S Metcalfe (eds). 4th ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa, U S A. pp:527-536.
- Herrmann A, F Taube (2005)** Nitrogen concentration at maturity – An indicator of nitrogen status in forage maize. *Agron. J.* 97:201-210.
- Karlen D L, C R Camp (1985)** Plant density, distribution, and fertilizer effects on yield and quality of irrigated corn silage. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16:55-70.
- Muchow R C (1988)** Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical environment: I. Leaf growth and leaf nitrogen. *Field Crops Res.* 18:1-16.
- Muchow R C, R Davis (1988)** Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment: II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18:17-30.
- Muchow R C, T R Sinclair, J M Bennett (1990)** Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82:338-343.
- Pinter L, J Schmidt, S Jozsa, J Szabo, G Kelemen (1990)** Effect of plant density on the value of forage maize. *Maydica* 35:73-79.
- Plénet D, G Lemaire (1999)** Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. *Plant Soil* 206:65-82.
- Reta S D G, A Gaytán M, J S Carrillo A (2000)** Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:37-48.
- SAS Institute (1985)** SAS user's guide. Statistics, version 5.0. 5th ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Soto O P, E Jahn B, S Arredondo S (2002)** Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el Valle Central Regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62:255-265.
- Tetio-Kagho F, F P Gardner (1988)** Response of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield and yield adjustments. *Agron. J.* 80:935-940.
- Tollenaar M (1989)** Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 29:1365-1371.
- Uhart S A, F H Andrade (1995)** Nitrogen and carbon accumulation and remobilisation during grain filling in maize under different source/sink ratios. *Crop Sci.* 35:183-190.