

RENDIMIENTO Y EXTRACCIÓN DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DE MAÍZ FORRAJERO EN SURCOS ESTRECHOS*

YIELD AND NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM UPTAKE OF FORAGE MAIZE IN NARROW ROWS

David Guadalupe Reta Sánchez^{1§} José Antonio Cueto Wong², Arturo Gaytán Mascorro¹ y Jesús Santamaría Cesar¹

¹Campo Experimental La Laguna, INIFAP. Boulevard José Santos Valdez 1200, Colonia Centro. 27440 Matamoros, Coahuila, México. ²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, INIFAP. [§]Autor para correspondencia: retadavid@inifap.gob.mx

RESUMEN

El rendimiento y extracción de nutrientes de maíz forrajero pueden incrementarse con la siembra en surcos estrechos, a menor distancia que los convencionales a 76 cm. El objetivo fue determinar el efecto de la distancia entre surcos sobre el rendimiento de materia seca y cantidad acumulada de N, P y K en maíz cv. 3025W. El estudio se realizó durante 1999 y 2000 en el Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México (25° 32' N, 103° 14' O, y 1150 msnm). Se evaluaron cuatro distancias entre surcos: 38, 50 y 76 cm con plantación a hilera sencilla y camas de 105 cm adoble hilera, todos con una densidad de 11.2 plantas m². Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se determinó el rendimiento de grano, materia seca total y su distribución en los órganos de la planta, índices de cosecha y área foliar y cantidad de N, P y K acumulado en materia seca. El rendimiento de materia seca obtenido en surcos a 38 cm y en camas a 105 cm, fue 14 y 17% mayor al testigo a 76 cm, respectivamente, lo cual se relacionó con mayor índice de área foliar y mayor acumulación de materia seca en los órganos vegetativos, sin reducción significativa en el índice de cosecha. En comparación con el testigo, la extracción de N y K en surcos a 38 cm se incrementó en 36 y 93 kg ha⁻¹, respectivamente, debido al aumento de rendimiento de materia seca.

Palabras clave: *Zea mays* L., eficiencia de uso de nutrientes, índice de cosecha, rendimiento de materia seca.

ABSTRACT

Planting on narrower rows rather than the conventional at 76 cm can increase yield and nutrient uptake of forage maize. The objective of this study was to determine the effect of row spacing on dry matter yield and content of N, P and K of maize cv. 3025W. The study was carried out in 1999 and 2000 in the Campo Experimental La Laguna near Matamoros, Coahuila, Mexico (25° 32' N, 103° 14' O, and 1150 masl). Four row widths were tested: 38, 50 and 76 cm single row and beds at 105 cm double row, all with 11.2 plants m². A complete random block design with four replications was used. Seed yield, total dry matter, dry matter partitioning, harvest index, LAI and total N, P and K uptake were determined. Dry matter yield obtained with the 38 cm single row and 105 cm double row was higher than the obtained with the conventional single row 76 cm by 14 and 17%, respectively, which was related to a higher LAI and dry matter partitioning to vegetative organs, with no significant reduction of the harvest index. N and K uptake increased 36 and 93 kg ha⁻¹, respectively, in rows at 38 cm as compared with the conventional row spacing, mainly due to a higher dry matter yield per ha.

Key words: *Zea mays* L., dry matter yield, harvest index, nutrient use efficiency.

* Recibido: Noviembre de 2005
Aceptado: Julio de 2007

INTRODUCCIÓN

La producción de dos millones de toneladas de leche de bovino por año en la Comarca Lagunera implica una alta demanda de forraje de calidad. Por su alto contenido energético, el ensilado de maíz es un componente importante en las raciones que se suministran al ganado bovino lechero (Goodrich y Meiske, 1985). En 2004 se cosecharon 26 500 ha de maíz forrajero de riego en la región con rendimiento promedio de 49 t ha⁻¹ de forraje verde.

En la región la industria lechera demanda incrementar el rendimiento de maíz forrajero sin disminuir su calidad. Una alternativa de manejo agronómico para atenderla es la siembra en surcos estrechos, con un distanciamiento menor al convencional de 76 cm. Esta práctica permite incrementar el rendimiento de materia seca por unidad de superficie debido, principalmente, a una mayor intercepción de radiación solar durante el ciclo de crecimiento (Barbieri *et al.*, 2000). En la medida en que se reduce la distancia entre surcos e incrementa la distancia entre plantas se mantiene constante la densidad de plantación y es posible incrementar de 7 a 20% el rendimiento de grano (Murphy *et al.*, 1996; Porter *et al.*, 1997; Barbieri *et al.*, 2000) y de 4 a 19% el rendimiento de materia seca (Bullock *et al.*, 1988; Cox *et al.*, 1998; Cox y Cherney, 2001; Widdicombe y Thelen, 2002). El mayor rendimiento de la siembra en surcos estrechos ha sido relacionado con un incremento en el índice de área foliar y la eficiencia de intercepción de radiación solar por unidad de área foliar (Hunter *et al.*, 1970; Bullock *et al.*, 1988). La mayor cantidad y más temprana intercepción de radiación solar que se obtiene con la siembra de maíz en surcos estrechos, incrementa la tasa de crecimiento respecto a la siembra en surcos convencionales, lo cual se traduce en aumento en peso de tallo y hojas (Hoff y Mederski, 1960); sin que esta práctica reduzca el índice de cosecha (Cox y Cherney, 2001; Widdicombe y Thelen, 2002).

El mayor rendimiento de maíz sembrado en surcos estrechos aumenta la demanda de nutrientes respecto a la siembra en surcos convencionales (Karlen y Camp, 1985; Cox y Cherney, 2001); sin que esto modifique las concentraciones normales de N, P y K en la planta de maíz (Karlen y Camp, 1985; Ottman y Welch, 1989), excepto en condiciones adversas, como suelos pobres en P (Hoff y Mederski, 1960), o con deficiencias de humedad (Stickler, 1964). Por consiguiente, la mayor extracción de los tres minerales estudiados se debe al incremento en la producción de materia seca por unidad de superficie (Karlen y Camp, 1985). Estos

autores reportaron que la extracción total de N, P y K por el maíz en surcos a 96 cm con siembra a doble hilera fue 225, 38 y 323 kg ha⁻¹, en comparación con 210, 34 y 297 kg ha⁻¹ de N, P, y K, respectivamente, en surcos sencillos a 96 cm. Cox y Cherney (2001) reportaron que el cultivo de maíz en surcos a 38 cm acumuló 8% más N que en surcos a 76 cm. Con base en lo anterior, se ha sugerido que con la siembra en surcos estrechos es posible incrementar entre 10 y 15 kg ha⁻¹ la dosis de N, sin que aumente la pérdida de nitratos por lixiviación (Cox y Cherney, 2001, 2002).

La eficiencia de utilización de nutrientes generalmente no es afectada por la distancia entre los surcos. La producción de grano de maíz por kilogramo de N, P, y K acumulado en la planta fue de 47, 246 y 35 kg, respectivamente (Karlen y Camp, 1985). Cox y Cherney (2001) reportaron una proporción de 91.7 entre materia seca producida y N acumulado en maíz. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del espaciamiento entre surcos sobre rendimiento de materia seca y cantidad de N, P y K acumulada en maíz para forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en el Campo Experimental La Laguna del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Matamoros, Coahuila, México ($25^{\circ} 32'N$, $103^{\circ} 14'O$, y 1150 msnm), en un suelo de textura franco arcillosa. El primer experimento se sembró el 16 de abril de 1999 y el segundo el 9 de junio de 2000, en suelo húmedo en ambos experimentos. Las medias mensuales de temperatura máxima, mínima y media que se presentaron durante la conducción de los experimentos, se muestran en el Cuadro 1.

En los dos experimentos se sembró el híbrido 3025W (Pioneer), en surcos sencillos a 38, 50 y 76 cm y en camas de 105 cm con siembra a doble hilera a 25 cm de separación, todos a una densidad de 11.2 plantas m⁻². En 1999 las parcelas experimentales fueron de 6 m de longitud y de 10 m en 2000; en ambos años se consideró un ancho de parcela de 8 surcos para los tratamientos de 76 y 105 cm, de 10 surcos para el de 50 cm y de 16 surcos para el de 38 cm. Las parcelas útiles fueron de 5 m de longitud en 1999 y de 8 m en 2000 y en ambos casos comprendieron dos surcos centrales para tratamientos de 76 cm y 105 cm, tres surcos centrales para el de 50 cm y cuatro surcos centrales para el de 38 cm. El diseño experimental empleado fue de bloques completos al

azar, con cuatro repeticiones. El híbrido 3025W es de ciclo intermedio-precoz, altura intermedia y hojas erectas, con alto potencial de rendimiento.

Cuadro 1. Medias mensuales de temperatura máxima, mínima y media en °C en el Campo Experimental La Laguna (INIFAP), durante los ciclos de crecimiento de maíz en 1999 y 2000.

Mes	1999			2000		
	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
Abril	34.2	14.4	24.3	-	-	-
Mayo	37.0	16.2	26.6	-	-	-
Junio	35.5	20.7	28.1	33.7	19.8	26.8
Julio	35.6	20.2	27.9	36.0	20.5	28.2
Agosto	35.8	20.2	28.0	34.8	19.4	27.1
Septiembre	-	-	-	34.0	17.4	25.7

El manejo agronómico en los dos experimentos fue el recomendado en la región para alta productividad. Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis 100-100-00 (N, P₂O₅, K₂O); además de aplicar dos dosis de 120 y 80 kg de N ha⁻¹ en el primero y segundo riego de auxilio, respectivamente. En 1999 se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 29, 40, 57 y 78 días después de la siembra (dds) y a los 34, 49, 63 y 77 dds en el 2000. Se realizó una escarda mecánica en los tratamientos a 76 cm y 105 cm a los 30 dds. El control de plagas se realizó mediante cuatro aplicaciones de insecticida: Lorsban 480CE (ia Clorpirifós) en dosis de 1 L ha⁻¹ para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y Folimat 1000CE (ia Ometoato) en dosis de 0.5 L ha⁻¹ para el control de araña roja (*Tetranychus spp.*).

En los dos experimentos la cosecha se realizó cuando el grano mostró un tercio de la línea de leche. El contenido de humedad en grano se ajustó al 4%, para igualarlo con el contenido de humedad de materia seca, lo que permitió determinar el índice de cosecha (IC), expresado en kg de grano por kg de materia seca total. El peso de materia seca total y su distribución se determinó en cinco plantas muestreadas al azar en cada parcela, las cuales fueron secadas en una estufa de aire forzado a 60 °C hasta alcanzar peso constante (4% humedad). Las láminas verdes de las hojas y la materia seca total de las plantas muestreadas se utilizaron para determinar el área foliar y la concentración de N, P y K, respectivamente. El área foliar se cuantificó con un medidor (LI-COR LI-300) y un accesorio de cinta transportadora (LI-COR, Lincoln, NE). El índice de área foliar (IAF) se calculó con el cociente de área foliar total

de la muestra y el área de terreno correspondiente a cinco plantas. Las muestras fueron procesadas en un molino Wiley con malla de 0.5 mm. El N total se determinó con el método Kjeldhal; el P por colorimetría y el K por fotometría de flama (Chapman y Parker, 1986). El total de N, P, y K acumulado en la materia seca se calculó a partir del peso total de materia seca obtenido por unidad de superficie por la concentración de nutrientes determinado en la muestra. La eficiencia de utilización de los tres minerales estudiados se determinó con la división de rendimiento de grano y materia seca entre el total de nutrientes acumulados en la misma superficie.

Con la información de los dos años de estudio se realizó una análisis combinado de varianza (Cochran y Cox, 1980) con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 1991) y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las condiciones de temperatura durante el ciclo del cultivo fueron similares en los dos años de evaluación (Cuadro 1). Durante el período de siembra a floración (65 dds) de 2000, se presentaron temperaturas más altas que en 1999; sin embargo, el análisis estadístico combinado de los dos años de evaluación no mostró diferencia significativa para la interacción año x distancia entre surcos. Por otra parte, el factor distancia entre surcos mostró diferencias significativas para las características: rendimiento de materia seca, distribución de materia seca en los órganos de la planta y concentración de N, P y K en el tejido.

El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo en surcos a 38 cm y en camas de 105 cm a doble hilera, los que superaron con 14 y 17% al distanciamiento convencional a 76 cm, respectivamente (Cuadro 2), lo que coincide con lo reportado por Bullock *et al.* (1988), Cox *et al.* (1998), Cox y Cherney (2001), Widdicombe y Thelen (2002). El rendimiento de grano e índice de cosecha no fueron modificados por la distancia entre surcos. El rendimiento de grano observado no coincide con el incremento reportado en otros estudios para surcos estrechos (Murphy *et al.*, 1996; Porter *et al.*, 1997; Barbieri *et al.*, 2000).

Se observó mayor índice de área foliar (IAF) en surcos a 38 cm y 105 cm respecto a surcos convencionales a 76 cm (Cuadro 2). En los dos años de evaluación se encontró una relación lineal significativa entre el IAF y rendimiento

Cuadro 2. Rendimiento de materia seca y grano e índices de cosecha y área foliar de maíz cv. 3025W sembrado a cuatro distancias entre surcos. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. 1999-2000.

DS (cm) [†]	Materia seca	Grano	IC	IAF
----- kg ha ⁻¹ -----				
38 HS	22368 a	9308 a	0.416 a	7.8 a
50 HS	20199 bc	9278 a	0.459 a	6.6 b
76 HS (t)	19145 c	9022 a	0.471 a	5.8 b
105 DH	21868 ab	9364 a	0.428 a	7.4 a

[†] DS=Distancia entre surcos; HS=hilera sencilla; DH=doble hilera; IC=Índice de cosecha; IAF=Índice de área foliar; (t)=Testigo. Para cada variable dentro de cada columna, medias seguidas con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

de materia seca (Figura 1). Esta relación fue similar a la encontrada en estudios como los de Hunter *et al.* (1970) y Bullock *et al.* (1988), quienes sugieren que el acrecentado rendimiento que se observó en surcos estrechos se debe al mayor desarrollo del área foliar, lo cual se refleja en un incremento en el peso seco de tallo y hoja antes de la fase de emergencia de estigmas en surcos estrechos (Hoff y Mederski, 1960).

La distancia entre surcos afectó significativamente la distribución de materia seca en los órganos de la planta. Se observó mayor acumulación de materia seca en tallo y hoja en surcos a 38 cm respecto a surcos convencionales a 76 cm (Cuadro 3).

En surcos a 50 cm se redujo la concentración de N en 9% con respecto a la siembra convencional a 76 cm (Cuadro 4). Las concentraciones de P y K no fueron afectadas por la distancia entre surcos. Estos resultados son similares a los reportados por otros estudios como los de Karlen y Camp (1985) y de Ottman y Welch (1989), quienes observaron que la distancia entre surcos no modificó consistentemente la concentración de N, P, y K en materia seca. En surcos a 38 cm se observó un incremento en la acumulación de N y K en materia seca respecto a la siembra a 76 cm. La cantidad de P extraído fue igual para todos los tratamientos.

En surcos a 38 cm se acumularon 36 kg más de N ha⁻¹ que en surcos a 76 cm (Cuadro 4), el doble de los 17 kg de N por

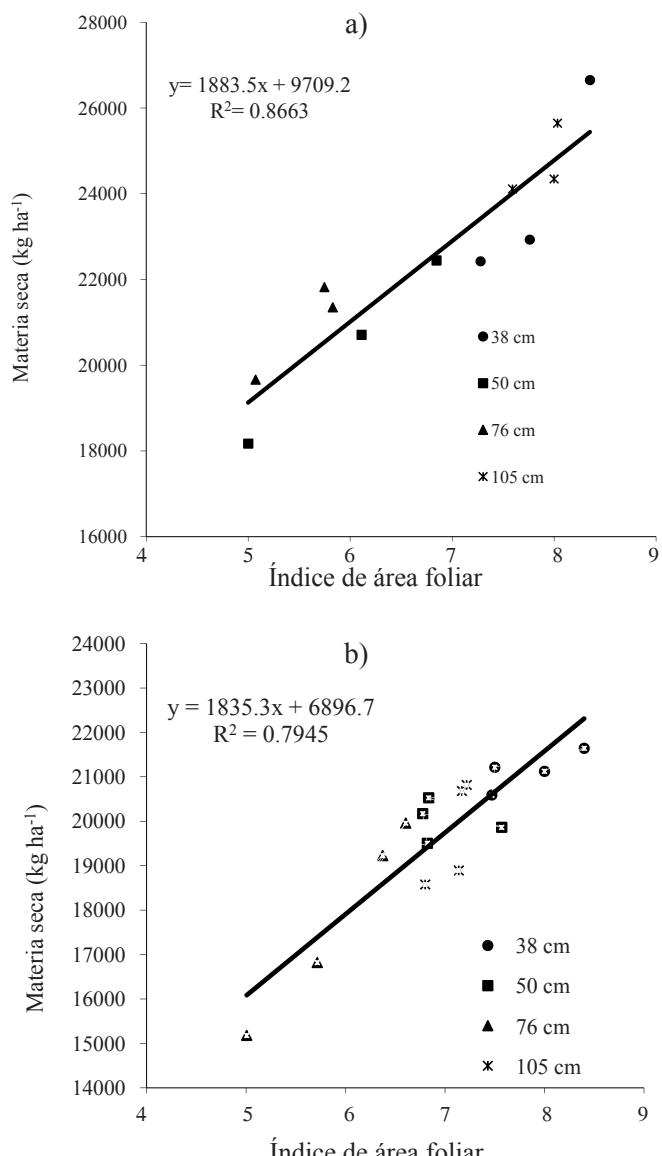


Figura 1. Relación entre índice de área foliar y el rendimiento de materia seca de maíz cv. 3025W sembrado a cuatro distancias entre surcos. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. a) 1999 y b) 2000.

ha⁻¹ reportados por Cox y Cherney (2001). En cuanto a la extracción de K, en surcos a 38 cm se incrementó en 93 kg ha⁻¹, con respecto al testigo (Cuadro 4), el cual fue superior al incremento de 26 kg ha⁻¹ en surcos dobles en comparación a surcos sencillos a 96 cm determinado por Karlen y Camp (1985). Las concentraciones de N y K en surcos a 38 cm fueron iguales a las observadas en surcos convencionales, por lo tanto, la mayor extracción de estos elementos se debió

Cuadro 3. Distribución de materia seca en los órganos de la planta de maíz cv. 3025W sembrado a cuatro distancias entre surcos. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. 1999-2000.

DS (cm) [†]	Tallo	Hoja	Mazorca	Otros [‡]	Total parte aérea
<i>g m⁻²</i>					
38 HS	447.4 a	625.6 a	1399.7 a	44.0 a	2516.7 a
50 HS	389.7 ab	560.0 b	1297.4 a	52.4 a	2299.4 b
76 HS (t)	331.2 b	490.7 c	1392.6 a	41.6 a	2256.2 b
105 DH	364.8 b	539.0 bc	1359.3 a	36.3 a	2299.4 b

[†]DS= Distancia entre surcos; HS=hilera sencilla; DH=doble hilera; [‡]Otros= espiga y primordios; (t)= Testigo. Para cada variable dentro de cada columna, medias seguidas con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

Cuadro 4. Concentración y acumulación de N, P y K en la materia seca de maíz cv. 3025W sembrado a cuatro distancias entre surcos. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. 1999-2000.

DS (cm)	N	P	K	N	P	K
	Concentración (g kg ⁻¹)			Acumulación (kg ha ⁻¹)		
38 HS	11.37 a	1.57 a	15.23 a	255 a	35 a	338 a
50 HS	10.40 b	1.75 a	13.49 a	210 b	32 a	273 ab
76 HS (t)	11.41 a	1.59 a	12.77 a	219 b	31 a	245 b
105 DH	10.60 ab	1.60 a	14.07 a	231 ab	35 a	304 ab

DS= Distancia entre surcos; HS= hilera sencilla; DH=doble hilera; (t)= Testigo. Para cada variable dentro de cada columna. Medias seguidas con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

al incremento en rendimiento de materia seca (3223 kg ha⁻¹). Los resultados sugieren que el efecto positivo de siembra en surcos estrechos sobre la acumulación de materia seca de la parte aérea (Cuadro 2) y sobre la extracción de N y K (Cuadro 4), se debió a mayor peso de tallo y hoja respecto a mazorca (Cuadro 3), aunque no lo suficiente para modificar el índice de cosecha (Cuadro 2), como lo consignan los estudios de Cox y Cherney (2001) y Widdicombe y Thelen (2002).

La eficiencia de utilización de N, P y K definida como materia seca total producida por kg de nutriente acumulado se presenta en el Cuadro 5. Solo la eficiencia de uso de N fue modificada por la distancia entre surcos. La producción de materia seca por kilogramo de N acumulado en surcos a 50 cm fue superior en 10% respecto a surcos a 76 cm. En la producción de grano por kilogramo de minerales

acumulado, Karlen y Camp (1985) no encontraron diferencia al cambiar la distribución de plantas de surcos sencillos a dobles a 96 cm. En este estudio se observó que en la producción de grano por kilogramo de N extraído, el tratamiento a 50 cm superó a los surcos a 38 cm. Para el K, el testigo a 76 cm fue superior a los surcos a 38 cm. Lo anterior sugiere que la mayor extracción de N y K en surcos a 38 cm no contribuyó a mejorar la eficiencia de utilización de estos elementos en la producción de grano.

El mayor rendimiento de materia seca y acumulación de N y K observados en surcos estrechos en comparación con el testigo sugiere la necesidad de ajustar la dosis de fertilización. En estudios similares se concluyó que es posible incrementar la dosis de N entre 10 y 15 kg ha⁻¹ respecto a la recomendación para surcos convencionales (Cox y Cherney, 2001 y 2002).

Cuadro 5. Eficiencia de utilización de N, P y K en la producción de materia seca y grano en maíz cv. 3025W sembrado a cuatro distancias entre surcos. Campo Experimental La Laguna, Matamoros, Coahuila, México. 1999-2000.

DS (cm)	Materia seca (kg kg^{-1})			Grano (kg kg^{-1})		
	N	P	K	N	P	K
38 HS	88.6 ab	645.4 a	66.9 a	36.6 b	265.1 a	27.9 b
50 HS	96.4 a	635.5 a	75.0 a	44.5 a	293.0 a	34.8 ab
76 HS (t)	87.8 b	641.6 a	80.8 a	41.5 ab	304.8 a	38.4 a
105 DH	94.7 ab	633.4 a	72.8 a	40.6 ab	268.6 a	31.2 ab

DS= Distancia entre surcos; HS= hilera sencilla; DH= doble hilera; (t)= Testigo. Para cada variable dentro de cada columna. Medias seguidas con la misma letra no son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) de acuerdo a la prueba de Tukey.

CONCLUSIONES

En la Comarca Lagunera, la siembra de maíz forrajero en surcos sencillos a 38 cm y a 105 cm en doble hilera incrementa el rendimiento de materia seca en 15.5% en promedio, respecto a la siembra convencional a 76 cm.

El incremento en rendimiento de materia seca, que se obtiene con la siembra en surcos estrechos, se debe a mayor índice de área foliar que se desarrolla en etapas tempranas del cultivo, lo que favorece su acumulación en tallos y hojas sin modificar significativamente el índice de cosecha.

La siembra en surcos estrechos incrementa la cantidad extraída de N y K, debido al incremento en la producción de materia seca y no al aumento de concentración de estos elementos en los órganos de la planta.

La eficiencia de utilización de N para la producción de materia seca se incrementa en 10% con la siembra en surcos sencillos a 50 cm.

LITERATURA CITADA

- Barbieri, P. A.; Sainz-Rozas, H. R.; Andrade, F. H. and Echeverría, H. E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. Agron. J. 92:283-288.
- Bullock, D. G.; Nielsen, R. L. and Nyquist, W. E. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. Crop Sci. 28:254-258.
- Chapman, H. D. y Parker, F. P. 1986. Métodos de análisis para suelos, plantas y agua. Ed. Trillas, 5a. Reimpresión. México, D. F. 195 p.
- Cochran, W. G. y Cox, G. M. 1980. Diseños Experimentales. Ed. Trillas, 6a. ed. p. 592-617.
- Cox, W. J.; Cherney, D. R. and Hanchar, J. J. 1998. Row spacing, hybrid, and plant density effects on corn silage yield and quality. J. Prod. Agric. 11:128-134.
- Cox, W. J. and Cherney, D. J. R. 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. Agron. J. 93:597-602.
- Cox, W. J. and Cherney, D. J. R. 2002. Evaluation of narrow-row corn forage in field-scale studies. Agron. J. 94:321-325.
- Goodrich, R. D. and Meiske, J. C. 1985. Corn and sorghum silages. In: Heath, M. E.; Barnes, R. F. and Metcalfe, D. S. (eds.). Forages. The science of Grassland Agriculture. 4th. ed. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. p. 527-536.
- Hoff, D. J. and Mederski, H. J. 1960. Effect of equidistant corn plant spacing on yield. Agron. J. 52:295-297.
- Hunter, R. B.; Kannenberg, L. W. and Gamble, E. E. 1970. Performance of five maize hybrids in varying plant populations and row widths. Agron. J. 62:255-256
- Karlen, D. L. and Camp, C. R. 1985. Row spacing, plant population, and water management effects on corn in the Atlantic Coastal Plain. Agron. J. 77:393-398.
- Murphy, S. D.; Yakubu, Y.; Weise, S. F. and Swanton, C. J. 1996. Effect of planting patterns and inter-row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late-emerging weeds. Weed Sci. 44:856-870.

- Ottman, M. J. and Welch, L. F. 1989. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn. *Agron. J.* 81:167-174.
- Porter, P. M.; Hicks, D. R.; Lueschen, W. E.; Ford, J. H.; Warnes, D. D. and Hoverstad, T. R. 1997. Corn response to row width and plant population in the northern corn belt. *J. Prod. Agric.* 10:293-300.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1991. SAS user's guide: Statistics. SAS Institute. Cary, NC., USA.
- Stickler, F. C. 1964. Row width and plant population studies with corn. *Agron. J.* 56:438-441.
- Widdicombe, W. D. and Thelen, K. D. 2002. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agron J.* 94:326-330.