

DENSIDAD DE POBLACIÓN Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA CLOROFILA, MATERIA SECA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ NORMAL Y QPM*

POPULATION DENSITY AND NITROGEN FERTILIZATION ON CHLOROPHYLL, DRY MATTER ACCUMULATION AND GRAIN YIELD IN NORMAL AND QPM MAIZE

Mariano Mendoza-Elos^{1§}, Carlos Mosqueda-Villagómez¹, José Antonio Rangel-Lucio¹, Alfonso López-Benítez², Sergio Alfredo Rodríguez-Herrera², Luis Latournerie-Moreno³ y Ernesto Moreno-Martínez⁴

¹Profesor Investigador del Instituto Tecnológico de Roque. Km. 8 carretera Celaya-Juventino Rosas. Apartado Postal 508. 38110 Roque, Celaya, Guanajuato, México. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. ³Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. ⁴Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. §Autor para correspondencia: mmendoza66@hotmail.com.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la densidad de población y de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de clorofila, acumulación de materia seca y el rendimiento de grano de maíces normales y con alta calidad de proteína. El experimento se estableció en Roque, Celaya, Guanajuato, México, en el ciclo primavera-verano 2003, bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial en dos fechas de siembra. La parcela grande se asignó a las seis variedades, la parcela media a las densidades de plantas (60 000, 70 000 y 80 000 plantas/ha) y la parcela chica a la fertilización nitrogenada (0, 100 y 200 kg ha⁻¹ de N); la unidad experimental fue de 11.25 m². La concentración de clorofila y la materia seca se evaluaron en cuatro fechas durante el ciclo vegetativo; la primera se determinó con el medidor de clorofila Spad 502, y la segunda al determinar el peso seco de dos plantas por unidad experimental. El rendimiento se estimó cuando el grano alcanzó la madurez fisiológica. Los niveles más altos de clorofila se obtuvieron con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N en los maíces de alta calidad proteínica y normal. Las plantas en densidades de 70 000 y 80 000 plantas/ha expresaron la mayor concentración de clorofila a los 90 días, con registros de 65 y 63 unidades Spad, respectivamente. Entre dosis de N, la mayor producción

de materia seca se obtuvo con 100 kg ha⁻¹ de N, con V₂ QPM (237 g/planta); entre densidades, esta misma variedad con 80 000 plantas/ha produjo la mayor cantidad de biomasa (251.17 g/planta). El rendimiento medio de grano obtenido con la aplicación de 200 y 100 kg ha⁻¹ de N en los maíces de alta calidad proteínica fue de 10.2 y 8.8 t ha⁻¹ respectivamente, a diferencia de 11.8 y 10.9 t ha⁻¹ obtenidos con V₁ (maíz blanco normal) con las mismas dosis. El rendimiento de la variedad de alta calidad proteínica CMSQ993027 fue comparable con el del mejor testigo de grano normal.

Palabras clave: *Zea mays* L., biomasa, calidad de proteína en maíz, clorofilómetro.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of plant stand and nitrogen fertilization on chlorophyll content, dry matter accumulation and grain yield of high quality protein and normal maize. The trial was established in two planting dates, during the spring-summer season of 2003 at Celaya, Guanajuato, Mexico, using a factorial, split-split-plot, experimental design. Cultivars were assigned to large plots, plant stands to medium plots and

* Recibido: Junio de 2005
Aceptado: Abril de 2006

the small plots were assigned to nitrogen fertilization rates on experimental units of 11.25 m². Chlorophyll content and plant dry matter were sampled four times during the crop cycle. Chlorophyll and dry matter determinations were made by using the chlorophyll meter Spad-502 and dry matter by taking two individual plants from each plot. Grain yield was estimated at harvest maturity. Highest chlorophyll levels in both high quality protein and normal maize were obtained with 100 and 200 kg ha⁻¹ of N. Plant stands of 70 000 and 80 000 plants/ha showed the highest chlorophyll values at 90 days after planting with 65 and 63 Spad units, respectively. For N rates, QPM V₂ showed the greatest production of dry matter (237 g/plant) with 100 kg ha⁻¹ of N. For plant stands this QPM V₂ maize cultivar also produced the greatest amount of dry matter (251.17 g/plant) when planted at 80 000 plants/ha. Average yield of high quality protein maize varieties with 200 and 100 kg ha⁻¹ of N was 10.2 and 8.8 t ha⁻¹, respectively, in comparison with 11.8 and 10.9 obtained with V₁-white seeded normal maize- at the same N rates. The grain yield of high protein quality CMSQ993027 was similar to the best normal seeded check.

Key words: *Zea mays* L., biomass, chlorophyll meter, quality protein maize.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y rendimiento de las plantas están estrechamente relacionados con los factores ambientales y el manejo del cultivo. La cantidad, calidad y duración de la luz y de la temperatura, así como la fecha y densidad de siembra, la humedad del suelo y la fertilización química, en particular el nitrógeno, afectan la concentración de clorofila, la formación de biomasa y el rendimiento. La clorofila es el pigmento fotosintético primario de las plantas que junto con el nitrógeno foliar varían con la radiación solar (Lohry y Schepers, 1988). El nitrógeno es constituyente de la clorofila (Bidwell, 1988), la cual se puede medir en forma indirecta con el clorofilómetro Spad 502, un dispositivo que captura la longitud de onda emitida por la hoja y que correlaciona a la clorofila con el nitrógeno foliar (Schepers *et al.* 1992). La deficiencia de nitrógeno altera la concentración y funcionalidad de la clorofila así como la eficiencia en la utilización de la luz

solar en la fotosíntesis, problema que se corregiría con la fertilización química (López, 1990).

En México, la mayoría de los genotipos de maíz poseen una calidad nutritiva baja, pues son deficientes en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano (Reyes, 1990). Esta necesidad condujo a la formación de maíces con alta calidad proteica, conocidos como QPM por sus siglas en inglés (CIMMYT, 2001). Si bien esta calidad es una respuesta intrínseca de la planta, la adición de nitrógeno puede contribuir a ella de manera importante, pues actúa como componente de vitaminas y diversos sistemas de energía en la planta; también forma parte de aminoácidos, precursores de proteínas, ácidos nucleicos, aminos, amidas, nucleoproteínas y de la clorofila (Domínguez, 1997). En la región de El Bajío Guanajuatense se recomiendan para maíces de riego y temporal, las siguientes dosis de fertilización química: 240-40-00 y 120-40-00 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (Pons *et al.*, 1993).

Los maíces con alto potencial productivo demandan un manejo eficiente de la población de plantas (Domínguez, 1997); además, aquellos desarrollados en años recientes toleran mayor número de plantas por unidad de superficie que los anteriores (Tollenaar, 1991). En un estudio de rendimiento de grano donde se probaron cinco poblaciones de plantas y dos híbridos, la mejor densidad se ubicó entre 70 000 y 80 000 plantas/ha (Jugenheimer, 1990); en cambio, Ortega *et al.* (2001) sugieren una población de 50 000 a 70 000 plantas/ha para la producción de maíz. La densidad de siembra de maíz recomendada en El Bajío Guanajuatense es de 60 000 y 45 000 plantas/ha, para riego y temporal, respectivamente (Pons *et al.*, 1993).

El análisis de crecimiento de las plantas sólo requiere dos tipos de mediciones: a) Peso de la materia seca de la planta, pero podría ser la materia orgánica o el contenido de energía y b) Tamaño del sistema asimilatorio, a través del área foliar, aunque también se representaría por el contenido de proteína o de clorofila de las hojas (Beadle, 1988). Al sistema de producción de maíz, en particular el considerado para maíces QPM en la región de El Bajío, no se le ha determinado una dosis óptima de nitrógeno que permita incrementar el rendimiento y la calidad de dicho producto; además los estudios de fechas de siembra han resultado diferentes en la producción de semilla. Tanaka

y Yamaguchi (1981) demostraron una disminución en el número de granos y peso de 1000 semillas, así como un abatimiento del índice de cosecha y rendimiento, al retardar la siembra de dos líneas de maíz.

El objetivo de la presente investigación consistió en determinar el efecto de la densidad de plantas y de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de clorofila, la acumulación de materia seca y el rendimiento de grano en maíces de alta calidad de proteína y normal establecidos bajo riego en dos fechas de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, Guanajuato, México, ubicado a los 20° 30' 28" de latitud norte y 100° 50' 00" de longitud oeste, a una altitud de 1750 msnm, durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2003. El suelo del área es de textura franco arcillosa (28.54% arena, 36.72% arcilla y 34.74% limo), pH neutro (7.34), conductividad eléctrica de 0.28 mmhos/cm (no salino), con materia orgánica medianamente pobre (1.64%) y nitrógeno medio pobre

(0.082%) (FAO-UNESCO, 1970; Ramírez, 1985). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo de parcelas subdivididas; las parcelas grandes correspondieron a las variedades, las parcelas medianas a las densidades y las parcelas chicas a las dosis de fertilización nitrogenada.

Se evaluaron seis variedades de maíz identificadas como V₁, V₂, V₃, V₄, V₅ y V₆. Las variedades V₁ y V₄, que son sintéticas, se usaron como testigos: V₁ (grano blanco) fue el testigo 1 y V₄ (SBS-400 amarillo) fue el testigo 2; V₂, V₃, V₅ y V₆ son maíces QPM con genealogía CIMMYT: CMSQ993027, CMSQ993037, CMSQ983051 y CMSQ983015, respectivamente (CIMMYT, 2003). El factor densidad de población se probó en los niveles de 60 000, 70 000 y 80 000 plantas/ha y el de fertilización nitrogenada con 0, 100, y 200 kg ha⁻¹ de N. La unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de largo con separación de 0.75 m entre surcos. Los 54 tratamientos derivados del diseño se establecieron en dos repeticiones y en dos fechas siembra: 1 de abril y 8 de mayo de 2003. En la primer fecha de siembra se aplicaron por gravedad cinco riegos y en la segunda sólo tres riegos, debido a la precipitación pluvial registrada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Promedio mensual de datos climatológicos¹ durante el año 2003. Celaya, Guanajuato, México.

Factor	Mes											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación mensual (mm) ²	0012.6	000.0	000.0	000.6	035.6	078.9	146.0	142.0	243.4	053.0	210.4	210.0
Temperatura mínima (°C) ³	004.8	003.6	003.5	007.4	011.3	015.4	015.0	014.5	016.6	012.3	218.9	212.2
Temperatura máxima (°C) ³	027.6	031.9	034.1	037.6	040.4	041.0	036.0	035.9	036.8	035.8	230.2	227.7
Temperatura promedio (°C)	014.4	016.3	017.7	022.2	025.5	025.1	023.2	022.9	023.1	020.5	217.7	213.0
Radiación solar global promedio (W m ⁻²)	187.0	259.0	286.0	298.0	300.0	251.0	272.0	0274.0	243.0	239.0	213.0	204.0
Energía solar promedio (Ly)	004.0	005.6	006.2	006.4	006.5	005.8	006.1	005.9	005.3	005.2	214.6	214.4

¹ Fuente: Estación meteorológica automática del Campo Experimental Bajío, marca DAVIS; ² Lámina mensual acumulada; ³ Promedio mensual intemperie (a 10 cm del suelo).

Las labores de cultivo se realizaron de acuerdo con la recomendación regional para el cultivo de maíz (Pons *et al.*, 1993). Se aplicó 50% del N más 40 kg de P_2O_5 en la siembra y el resto del N se agregó 45 días después de la siembra; las fuentes de fertilizantes fueron urea para N y superfosfato de calcio triple para P_2O_5 . La semilla se trató con Captan-Metoxicloro-Malathion, en dosis de 0.187 kg por 100 kg de semilla. Hubo incidencia de trips (*Frankliniella williamsi* Hood) en la primera fecha de siembra y su control se realizó con dos aplicaciones de Malathion 1000E, en dosis de 1.0 L en 200 L de agua/ha; la primera aplicación se hizo a los 15 días después de la emergencia de la planta, con una bomba de mochila de 15 L, con boquilla de abanico Teejet 8003; en la segunda fecha de siembra no hubo problemas de plagas. Las malezas se controlaron en preemergencia con Gesaprim Combi, en dosis de 1.5 L en 200 L de agua/ha, mediante aplicación manual realizada tres días después del riego con una bomba de mochila de 15 L, con boquilla de abanico Teejet 8003; posteriormente el cultivo se mantuvo libre de malezas con deshierbes manuales.

La determinación de clorofila se realizó en cuatro plantas de la parcela útil, con muestreos a los 45, 60, 75 (inicio de la floración femenina) y 90 días después de la siembra (dds). La cantidad de clorofila se midió con el aparato portátil Spad 502 (Minolta camera Co., Ltd., Japan) en tres sitios o posiciones de la sexta hoja (proximal, media y distal) para obtener luego un promedio. Al aparecer el jilote, la clorofila se cuantificó en la hoja inmediata inferior. La materia seca se determinó en las mismas fechas que la clorofila, a partir de dos plantas con competencia completa por unidad experimental, las cuales se colectaron y secaron en una estufa a 70 °C durante 72 h y se registró el peso seco con una báscula digital. La cosecha se realizó cuando el grano alcanzó la madurez fisiológica en ambas fechas de siembra y el contenido de humedad del grano se estimó en cada tratamiento con el equipo GMA Star 128, para ajustar el rendimiento a 14.5% de humedad. Los datos de ambas fechas de siembra se analizaron en forma individual y conjunta mediante la técnica de análisis de varianza (Gomez y Gomez, 1984; Steel y Torrie, 1986); así mismo, se realizó la prueba de medias DMS $p=0.05$ (Little y Hills, 1981) y las correlaciones con el paquete estadístico SAS versión 6.12 (SAS Institute, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de Clorofila (unidades Spad)

En el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas en los cuatro muestreos efectuados al evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en ambas fechas de siembra (Cuadro 2). Resultados similares ocurrieron con el análisis conjunto para clorofila y fechas indicadas. Sobre este aspecto, Piekielek y Fox (1992) indicaron que los niveles de clorofila varían con el híbrido de maíz y el contenido de nitrógeno de la planta, además de sufrir cambios por enfermedades, daño de insectos o heladas; en cambio Varvel *et al.* (1997) encontraron diferencias significativas con el medidor de clorofila entre híbridos y fechas de siembra.

En los maíces QPM sólo ocurrió alta concentración de clorofila con 100 y 200 kg ha⁻¹ de N (Cuadro 3); éstas se manifestaron con mayor amplitud en los maíces QPM y en la variedad V_1 (maíz blanco), en cambio la V_4 (maíz amarillo), de ciclo precoz, no respondió al nitrógeno aplicado en cuanto a la concentración de clorofila. La respuesta del clorofilómetro a la concentración de nitrógeno posiblemente fue el reflejo del incremento de $N-NO_3$ en la forma de N total en niveles altos en la hoja, asociados con la molécula de clorofila (Dwyer *et al.*, 1995). A este respecto, Piekielek y Fox (1992) encontraron la mayor variación de lecturas de clorofila en tratamientos sin N en la tercera y cuarta hoja de maíz, que en la quinta y sexta; los valores registrados variaron desde 11.5 hasta 59.6 unidades Spad.

A diferencia de la primera fecha de siembra, en la segunda las variedades de maíz mostraron variación en el contenido de clorofila a los 45 y 60 dds (Cuadro 4); en la segunda fecha sobresalieron las variedades V_4 amarillo, V_5 QPM y V_1 blanco con valores de clorofila de 55.9, 54.5 y 53.7 unidades Spad, respectivamente. La superioridad de la variedad V_4 se mantuvo hasta los 60 dds, seguida de la respuesta de V_3 QPM. Así mismo, el análisis conjunto de la clorofila mostró diferencias altamente significativas entre las variedades de maíz a los 45 y 60 dds (Cuadro 2). La maduración de la planta fue consistente en los registros de la clorofila, pues si bien se observó

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza según fechas de siembra para clorofila, materia seca de la planta y rendimiento de grano en cultivos de maíz QPM y normal con niveles de fertilización y densidad de población.

Fuentes de variación	GL	Clorofila dds				Materia seca de planta dds				Rend. de grano
		45	60	75	90	45	60	75	90	
Fecha de siembra (FS)	1	5 585.06**	1 963.55**	185.37**	7 784.40**	96.11**	1 440.02**	18 234.95**	1 731.49**	973.80**
FS (REP)	2	10.65**	55.80**	6.57**	258.07**	96.11**	1 440.02**	18 234.95**	1 731.49**	11.50**
Variedad (A)	5	72.04**	105.57**	37.01**	86.01**	198.74**	6 337.47**	10 500.67**	32 513.07**	108.1**
FS*A	5	28.17**	50.47**	63.93**	36.54**	110.53**	3 165.96**	1 024.10**	10 066.34**	35.10**
Error conjunto a	10	23.85**	19.15**	22.83**	39.64**	6.82**	319.09**	4 016.93**	6 973.96**	11.20**
Densidad (B)	2	42.71**	20.99**	3.93**	20.11**	9.27**	0.46**	737.52**	196.32**	264.50**
FS*B	2	46.12**	18.06**	72.80**	33.73**	43.66**	72.18**	5 479.06**	11 772.41**	27.80**
A*B	10	3.91**	9.04**	33.93**	21.68**	47.60**	240.51**	1 453.18**	2 545.81**	13.50**
FS*A*B	10	14.65**	7.34**	21.38**	40.61**	34.28**	272.01**	790.98**	2 292.84**	5.60**
Error conjunto b	24	12.95**	8.63**	20.21**	36.93**	18.47**	365.27**	1 015.93**	1 706.89**	4.90**
Fertilización (C)	2	25.99**	24.38**	9.48**	28.54**	134.50**	500.44**	811.51**	1 613.11**	75.00**
FS*C	2	1.46**	5.08**	25.23**	7.85**	167.35**	307.15**	1 301.33**	7 900.00**	21.40**
A*C	10	13.68**	10.54**	10.63**	24.76**	68.63**	411.68**	572.51**	5 019.36**	1.90**
B*C	4	6.17**	18.15**	4.45**	40.61**	15.45**	958.66**	7 059.13**	2 177.85**	1.40**
A*B*C	20	9.71**	11.16**	19.28**	40.74**	31.21**	278.34**	1 543.48**	3 515.81**	1.70**
FS*A*C	10	3.72**	13.31**	17.06**	22.14**	29.40**	348.13**	1 738.13**	2 308.09**	2.80**
FS*B*C	4	18.87**	3.94**	12.13**	28.48**	35.14**	90.30**	3 353.13**	5 291.10**	2.30**
FS*A*B*C	20	13.67**	8.68**	23.34**	38.74**	45.74**	152.45**	1 875.40**	2 057.06**	1.70**
Error conjunto c	72	9.26**	9.63**	13.18**	26.64**	14.42**	444.88**	1 035.39**	4 290.42**	1.80**
Total	215									
C V a (%)		10.03**	8.38**	9.15**	11.75**	13.36**	28.87**	36.56**	29.35**	25.48**
C V b (%)		7.39**	5.63**	8.60**	11.45**	21.98**	30.89**	18.38**	14.52**	19.10**
C V c (%)		6.25**	5.94**	6.42**	9.73**	19.42**	34.09**	18.50**	23.02**	10.64**

*, ** = Diferencia estadística a 0.05 y 0.01 de probabilidad; dds= Días después de la siembra.

Cuadro 3. Concentración de clorofila, acumulación de materia seca y rendimiento de grano promedio de dos fechas de siembra, en función de la dosis de fertilización nitrogenada y la variedad. Celaya, Guanajuato, México. 2003.

Variedad	N (kg ha ⁻¹)	Clorofila (unidades Spad)				Materia seca de planta (g)				Rend. grano (kg ha ⁻¹)
		dds				dds				
		45	60	75	90	45	60	75	90	
V ₁ Blanco	200	46.11	51.35	56.92	61.06	22.96	110.00	193.08	227.17	18901
	100	46.28	51.48	58.52	61.55	27.56	91.38	179.17	224.33	10332
	200	47.14	55.60	57.18	65.05	29.39	112.92	173.33	206.25	11403
V ₂ QPM	200	43.19	45.99	57.41	57.28	22.00	43.17	147.17	217.50	17210
	100	40.24	45.45	55.96	59.73	20.11	53.67	143.92	237.00	18915
	200	39.13	45.03	55.71	55.60	17.58	52.79	155.25	232.33	19412
V ₃ QPM	200	44.76	49.06	58.03	57.46	21.04	66.96	130.43	191.64	18355
	100	43.43	47.78	55.11	60.08	20.44	89.42	137.50	187.42	19465
	200	45.56	48.67	60.10	57.68	19.65	77.00	141.20	194.40	10311
V ₄ Amarillo	200	42.65	50.52	58.85	60.43	20.60	90.75	156.33	166.83	14170
	100	44.18	48.60	56.20	56.48	32.98	74.10	143.40	199.60	17321
	200	45.15	50.66	58.13	58.95	29.08	90.17	122.08	182.92	18956
V ₅ QPM	200	42.24	47.44	59.74	55.97	18.92	41.29	129.00	178.00	16989
	100	43.56	49.11	59.64	59.80	21.46	47.42	127.42	205.25	17512
	200	44.99	49.87	57.84	62.46	28.61	62.50	142.57	207.64	19065
V ₆ QPM	200	41.93	49.33	58.57	58.52	19.75	80.10	134.20	215.00	18022
	100	41.07	49.50	55.08	59.07	26.18	60.79	128.71	212.57	18975
	200	43.29	49.95	56.93	54.83	33.83	75.13	158.33	194.75	10401
DMS ∞=0.05 Variedad		02.36	02.23	2.71	04.05	08.32	017.87	020.33	021.86	12550
DMS ∞=0.05 Fertilización		03.66	03.54	2.21	03.83	08.31	016.04	020.42	028.80	16210
DMS ∞=0.05 Var*Fert		04.75	04.17	4.19	06.40	10.65	026.09	030.77	091.13	11770

dds= Días después de la siembra; Rend.= Rendimiento.

un aumento de la presencia de clorofila en los maíces QPM, los mayores valores se observaron en los maíces V₁ blanco y V₄ amarillo. El valor medio de concentración de clorofila de 56.6 unidades Spad, ocurrido a los 60 dds, permite destacar que esta etapa es la más apropiada para la medición de la clorofila. Los maíces mostraron, entre los 76 y 85 dds, el 50% de la floración masculina y un día después tuvieron la floración femenina.

La densidad de plantas influyó sobre la concentración de la clorofila sólo a los 45 dds (Cuadro 2). Las densidades de 70 000 y 80 000 plantas/ha expresaron la mayor concentración clorofilica del maíz a los 90 dds, donde los registros de 65 y 63 unidades Spad correspondieron a los maíces V₁ blanco y V₅ QPM, respectivamente, a una densidad de 70 000 plantas/ha (Cuadro 5); en la densidad

de 80 000 plantas/ha disminuyó la cantidad de clorofila.

Materia seca

Solo en el primer muestreo (45 dds) se observó el efecto de la fertilización nitrogenada en la acumulación de materia seca; también en esta etapa, la interacción variedad x la densidad de plantas mostró diferencia significativa para la primera fecha de siembra; en cambio, la interacción fertilización nitrogenada x densidad de plantas mostró diferencia significativa a los 75 dds. El análisis conjunto del experimento en ambas fechas de siembra indicó que a los 45 dds, la fertilización con la mitad de

Cuadro 4. Medias de clorofila, materia seca y rendimiento en seis variedades de maíz sembradas en dos fechas de siembra con diferentes niveles de fertilización y densidades de población. Celaya, Guanajuato, México. 2003.

Fecha de siembra/Factor	Clorofila (unidades Spad)				Materia seca (g/planta)				Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
	dds				dds				
	45	60	75	90	45	60	75	90	
Primera fecha (01/04/03)									
Variedad									
V ₁ Blanco (Testigo 1)	46.51NS	52.81	57.54	62.56	26.6ab	104.8abb	181.9a	219.2abc	10.64ad
V ₂ QPM	40.85	45.49	56.36	57.57	19.9cb	149.9cb	148.8b	228.9 ac	18.37cd
V ₃ QPM	44.59	48.56	57.82	58.44	20.4bc	177.2bb	135.8b	191.0cdc	19.42bd
V ₄ Amarillo (Testigo 2)	44.00	50.02	57.71	58.58	27.3ab	185.6ab	140.4b	182.1dcc	1 6.77ed
V ₅ QPM	43.62	48.81	58.97	59.39	23.3bb	151.0cb	133.5b	197.6bcd	1 7.69dd
V ₆ QPM	41.97	49.50	56.76	57.40	26.9ab	170.9bb	140.1b	207.3abc	1 9.09bc
Densidad (miles plantas/ha)									
60 000	46.50	52.84	57.54	62.56	26.64	104.77	138.6b	219.25	11.30
70 000	40.85	45.49	56.36	57.57	19.90	149.88	157.5a	228.95	9.41
80 000	44.59	48.62	57.88	58.48	20.53	177.62	143.8b	192.22	10.37
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)									
0	46.61	52.81	57.54	62.55	26.64	104.76	181.76	219.25	10.21
100	40.85	45.49	56.36	57.54	19.90	149.85	148.78	228.94	8.51
200	44.58	48.50	57.75	58.41	20.38	177.79	136.38	191.15	9.38
Segunda fecha (08/05/03)									
Variedad									
V ₁ Blanco	53.7ab	55.4bc	56.48	61.50	17.1ab	147.8cb	225.4abc	438.8ab	14.47aba
V ₂ QPM	52.6ba	53.8bc	56.28	56.60	14.5cb	146.9cb	199.8abc	400.3ab	11.65daa
V ₃ QPM	53.3ba	56.1ab	56.82	58.40	15.1bc	154.6bb	186.4cba	351.5bc	12.24bcc
V ₄ Amarillo	55.9ab	58.1ab	57.70	57.92	18.6ac	165.2ab	198.0bca	327.9cb	12.93baa
V ₅ QPM	54.5ab	54.8bc	57.90	58.39	12.0db	138.0db	176.6cba	326.0cb	8.37da
V ₆ QPM	52.4ba	53.2cb	56.72	56.23	13.0cd	152.4bc	214.0abc	343.3bc	12.22bcc
Densidad (plantas/ha)									
60 000	54.4ab	50.10	57.69	58.54	16.3ab	176.49	142.08	192.35	10.96caca
70 000	54.7ab	48.81	58.87	59.37	14.9ab	178.91	132.74	197.32	11.86baca
80 000	52.2ba	49.40	56.66	57.32	13.0bb	171.24	140.94	205.16	13.12aaaa
Nitrógeno (kg ha ⁻¹)									
0	43.99	49.93	57.73	58.62	27.55	185.01	140.60	193.12	6.82
100	43.60	48.81	59.07	59.41	27.32	182.03	133.00	196.96	7.85
200	42.10	49.59	56.86	57.47	26.59	180.25	140.41	207.44	8.13

dds= Días después de la siembra; NS= No existen diferencias significativas; Medias con letras comunes en la misma columna son iguales estadísticamente (DMS, 0.05).

nitrógeno influyó en la producción de materia seca. Este mismo resultado se produjo en todas las interacciones a excepción de fecha de siembra x variedad x densidad, densidad x fertilización y fecha de siembra x densidad y fertilización (Cuadro 2). Finalmente, los resultados también indicaron que los efectos de los tratamientos nitrogenados disminuyeron a los 75 dds y desaparecieron conforme avanzó el ciclo del cultivo.

El uso de 100 kg ha⁻¹ de N condujo a la mayor producción de materia seca en V₂ QPM (237 g/planta) a los 90 dds, a diferencia del maíz V₄ amarillo sin fertilización nitrogenada que sólo produjo 167 g de materia seca

por planta (Cuadro 2). Estos resultados se atribuyen a que la cantidad de nitrógeno total que contenía en el suelo del sitio experimental fue medianamente pobre (0.82%) y también a la respuesta diferencial genotípica de los cultivares en estudio; estos mismos materiales respondieron de manera similar a las densidades de 80 000 y 70 000 plantas/ha, al producir 251 y 185 g de materia seca/planta, respectivamente (Cuadro 5).

Los efectos altamente significativos de la variedad en la producción de materia seca resultaron acordes con la etapa de desarrollo de la planta en las dos fechas de siembra; no obstante, el análisis combinado permitió definir el efecto

Cuadro 5. Concentración de clorofila, acumulación de materia seca y rendimiento de grano promedio de dos fechas de siembra, en función de la densidad de población y la variedad en maíces normales y QPM. Celaya, Guanajuato, México. 2003.

Variedad	Densidad de plantas (miles/ha)	Clorofila (unidades Spad)				Materia seca planta (g)				Rend. grano (kg ha ⁻¹)
		dds				dds				
		45	60	75	90	45	60	75	90	
V ₁ Blanco	60	46.45	53.41	57.42	61.50	28.73	103.75	190.75	199.83	9963
	70	47.07	51.94	59.03	65.00	19.38	98.17	176.25	219.92	11620
	80	45.99	53.09	56.16	61.17	31.81	112.38	178.58	238.00	12307
V ₂ QPM	60	38.98	44.68	54.27	56.47	19.19	50.67	128.00	216.50	8414
	70	42.49	45.63	56.67	55.27	21.67	47.29	165.92	219.17	9447
	80	41.08	46.16	58.13	60.88	18.83	51.67	152.42	251.17	10366
V ₃ QPM	60	43.17	47.17	55.71	56.57	20.57	75.93	115.14	176.79	9211
	70	44.17	48.89	60.25	58.10	21.93	82.90	156.80	198.70	10517
	80	46.44	49.79	57.69	60.77	19.08	74.04	142.33	201.17	11383
V ₄ Amarillo	60	42.99	49.58	58.60	58.67	27.54	75.08	124.92	182.58	4642
	70	44.55	51.84	55.55	55.04	27.95	100.75	169.90	185.80	8091
	80	44.50	48.89	58.92	61.92	26.33	83.63	131.42	178.67	9650
V ₅ QPM	60	44.30	48.39	57.33	56.98	22.13	59.04	127.50	194.25	7575
	70	44.13	49.88	61.49	63.06	24.96	53.36	147.21	201.29	8320
	80	42.49	48.15	57.80	58.08	22.50	40.33	123.50	196.42	9565
V ₆ QPM	60	40.09	47.85	55.82	55.90	23.45	75.05	151.40	182.10	8662
	70	43.58	51.39	55.88	59.14	29.07	69.54	136.43	220.71	9675
	80	41.88	48.97	58.27	56.93	27.38	69.13	135.00	212.67	11375
DMS $\alpha=0.05$ Variedad		02.67	02.78	04.12	05.93	03.78	018.25	0031.11	030.28	03408
DMS $\alpha=0.05$ Densidad		04.78	03.28	01.42	03.21	04.73	006.09	0053.08	077.81	03780
DMS $\alpha=0.05$ Var*Densidad		02.54	03.86	0 7.49	05.99	08.87	019.94	0049.03	064.90	04720

dds= Días después de la siembra; Rend.= Rendimiento.

de las diferencias genéticas de los genotipos de maíz cuando éstos interaccionan con la fecha de siembra. Así, la mayor producción de materia seca (251.17 g/planta) la alcanzó V₂ QPM con una densidad de 80 000 plantas/ha a través de ambas fechas de siembra, es decir, superó en 26 y 20% a los testigos V₄ amarillo y V₁ blanco, respectivamente (Cuadro 5).

El incremento de la densidad de población condujo a una disminución en el uso eficiente de la radiación solar (Purcell *et al.*, 2002), lo que contrasta con la densidad de 70 000 plantas/ha, la cual afectó significativamente a la producción de biomasa a los 75 dds al formar 157 g/planta en el maíz cultivado en la primera fecha. Si se considera que el uso eficiente de la radiación es constante

y que la duración del ciclo del cultivo no es afectada por la densidad de plantas, el incremento de ésta podría acortar el tiempo requerido para alcanzar el mayor índice de intercepción de luz, aumentar la acumulación total de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo, y causar una mayor producción de biomasa en la maduración del cultivo (Purcell *et al.*, 2002). Los maíces recibieron en la primera fecha de siembra 37 180 Wm⁻² y en la segunda 44 399 Wm⁻². El efecto estadístico a esta misma edad de la planta se mantuvo en la segunda fecha de siembra. Mediante el análisis combinado se comprobó la influencia de la fecha de siembra en la interacción densidad x fecha de siembra, debido a que provocó efectos altamente significativos en la formación de biomasa seca a los 75 y 90 dds (Cuadro 2).

Rendimiento de grano

La máxima productividad de grano de los cultivares se observó cuando se aplicó mayor cantidad de nitrógeno. Respecto a densidad de plantas por hectárea se observó un aumento en grano con mayor número de plantas por unidad de superficie. Así mismo, la segunda fecha de siembra fue estadísticamente superior a la primera, información importante que también influye en el potencial productivo de los nuevos materiales (Cuadro 4). Norwood (2001), encontró que una segunda fecha de siembra condujo a rendimientos altos, en combinación con un híbrido de maíz. Los resultados obtenidos en parte se fundamentan en las correlaciones positivas que se originaron entre la producción de materia seca durante el ciclo de crecimiento y el rendimiento de grano, en particular a los 75 dds ($r = 0.40^{**}$) y 90 dds ($r = 0.54^{**}$), así como en la influencia de la clorofila en los primeros estadios de crecimiento del maíz, es decir, a los 45 y 75 dds ($r = 0.45^{**}$, $r = 0.38^{**}$). En las etapas restantes de medición de clorofila y biomasa no mostraron asociación con el rendimiento de grano de maíz sembrado en dos fechas. Esto por que además de los tratamientos estudiados, hubo otros factores incontrolables que afectaron los resultados obtenidos.

El mayor rendimiento promedio de grano a través de dosis de nitrógeno y densidad de planta, lo produjo la variedad testigo de maíz normal V_1 blanco, con valores de 11.8 y 10.9 t ha⁻¹, cuando se fertilizó con 200 y 100 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Los rendimientos de V_1 QPM, V_3 QPM y V_2 QPM, fertilizadas con 200 kg ha⁻¹ de N, con producción de 10.4, 10.3 y 9.4 t ha⁻¹ (Cuadro 3), fueron aceptables si se considera que son materiales con alto contenido de proteína. La respuesta de los maíces QPM a la aplicación de nitrógeno fue importante, es decir, el rendimiento se incrementó a medida que las unidades de nitrógeno aumentaron. Respuesta similar ocurrió al evaluar el efecto conjunto entre variedad y densidad de plantas, tal fue el caso de V_1 blanco que sobresalió al combinarse con 80 000 y 70 000 plantas/ha, seguida por V_6 QPM, V_3 QPM y V_2 QPM.

Al comparar las variedades se observó que V_1 blanco tuvo una madurez fisiológica mayor, tanto en la primera (142 dds) como en la segunda (147 dds) fecha de siembra; en cambio V_4 amarillo se caracterizó por su precocidad con 119 y 126 dds, para ambas fechas de siembra,

respectivamente. Además del ciclo de cultivo, el potencial de rendimiento del maíz depende de la duración de las fases fenológicas (Bolaños y Edmeades, 1993) o de la duración del área verde fotosintéticamente activa (Fisher y Palmer, 1984).

La densidad de siembra más alta produjo un rendimiento de grano significativamente mayor en la segunda fecha de siembra (Cuadro 2). Widdicombe y Thelen (2002) obtuvieron el mayor rendimiento de maíz con 90 000 plantas/ha, aunque también destacó la interacción densidad por genotipo. Densidades altas de población disminuyeron la eficiencia de uso de la radiación que, junto con la ausencia de efectos estadísticos respecto a la aplicación de N, pudo haber decrecido el nitrógeno foliar y, como consecuencia, la producción de clorofila y de materia seca.

CONCLUSIONES

Los valores más altos de clorofila en los maíces QPM ocurrieron con las dosis de fertilización 100 y 200 kg ha⁻¹ de N, al igual que en el maíz V_1 blanco. Las plantas en densidades de 70 000 y 80 000 plantas/ha expresaron la mayor concentración de clorofila a los 90 días después de la siembra.

La variedad V_2 QPM, descrita como CMSQ993027, fue superior a las variedades de endospermo normal en materia seca con la dosis de 100 kg ha⁻¹ de N a los 90 dds (237 g/planta); así mismo, produjo la mayor cantidad de materia seca con 80 000 plantas/ha (251.17 g/planta). En rendimiento de grano fue superior al testigo de grano normal amarillo.

LITERATURA CITADA

- Beadl, C. L. 1988. Análisis de crecimiento vegetal. *In*: Coombs, J.; Mall, D. O.; Long, S. P. y Scurlock, J. M. O. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Futura. Texcoco, Estado de México, México. p. 17-33.
- Bidwell, R. G. S. 1988. Fisiología vegetal. Trad. del inglés por Guadalupe Gerónimo Cano y Cano. AGT Editor. México, D. F. 784 p.

- Bolaños J. y Edmeades, G. O. 1993. La fenología del maíz. Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Guatemala, Guatemala, C. A. Vol. 4:251-261.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2001. The quality protein maize revolution. Improved nutrition livelihoods for the poor. México, D. F. 8 p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 2003. Programa de ensayos internacionales de maíz. México, D. F. 272 p. (Informe especial s/n).
- Domínguez V., A. 1997. Tratado de fertilización. 3a. ed. Mundi-Prensa. México, D. F., México. 613 p.
- Dwyer, L. M.; Anderson, A. M.; Stewart, D. W.; Tollenaar, M. and Gregorich, E. 1995. Quantifying the nonlinear in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. *Can. J. Plant Sci.* 75:179-182.
- Fisher, K. S. and Palmer, A. F. E.. 1984. Tropical maize. *In: Goldworthy, P. R and Fisher, N. M. (eds.). The Physiology of tropical field crops.* John Wiley & Sons. New York, NY., USA. p. 213-248.
- Gomez K., A. and Gomez, A. A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. John Wiley & Sons. New York, NY., USA. 680 p.
- Jugenheimer, R. W. 1990. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Trad. del inglés por Piña G., R. LIMUSA. México, D. F., México. 841 p.
- Little, T. M. and Hills, F. J. 1981. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trad. de la 2a. reimpresión en inglés por Crespo A., P. Trillas. México, D. F., México. 270 p.
- Lohry, R. D. and Schepers, J. S. 1988. Chlorophyll leaf nitrogen and yield relationships of irrigated corn in Nebraska. *In: Agronomy Abstracts.* American Society of Agronomy. Madison, WI., USA. p. 241.
- López B., L. 1990. Cultivos herbáceos. Volumen I: Cereales. Mundi-Prensa. Madrid, España. 539 p.
- Norwood, C. A. 2001. Planting date, hybrid maturity and plant population effects on soil water depletion, water use and yield of dryland corn. *Agron. J.* 93:1034-1042.
- Organización para la Agricultura y la Alimentación- Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FAO-UNESCO). 1970. Clasificación de los suelos. México, D. F. 280 p.
- Ortega C., A.; Cota A., O.; Vasal, S. K.; Villegas M., E.; Córdoba O., H.; Barreras S., M. A.; Wong, P. J. J.; Reyes M., C. A.; Preciado O., R. E.; Terrón I., A. y Espinoza C., A. 2001. H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el Noroeste y subtrópico de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Cd. Obregón, Sonora, México. 25 p. (Folleto Técnico Núm. 41).
- Penning de Vries, F.W.T. and Keulen, H. van. 1993. Interaction of yield-determining processes. *In: International Crop Science.* Crop Science Society of America. Madison, WI., USA. p. 831-834.
- Piekielek, W. P. and Fox, R. H. 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron. J.* 84:59-65.
- Pons H., J. L.; Terrón T., A. D.; Arévalo V., T.; Aguilar G., R.; Díaz de León T., G.; Rodríguez G., H.; Delgadillo S., F.; Narro S., J.; Vuelvas C., M. A.; Arreola T., J. M.; Díaz C., G. y Pérez M., J. 1993. Guía para cultivar maíz de riego y temporal en Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. 36 p. (Folleto para Productores Núm. 3).
- Purcell, L. C.; Ball R. A.; Reaper, J. D. and Vories, E. D. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Sci.* 42:172-177.
- Ramírez S., S. 1985. Evaluación del efecto de tres distancias entre surco en la producción de sorgo (*Sorghum bicolor* Moench). Tesis de Licenciatura. Instituto Superior de Educación Tecnológica Agropecuaria. Roque, Celaya, Guanajuato. 73 p.
- Reyes, C. P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editor. México, D. F., México. 640 p.
- Sanchez R., A.; Casal, J. J.; Banare, C. L. and Scopel, A. L. 1993. Plant response to canopy density mediated by photomorphogenetic process. *In: International Crop Science I.* Crop Science Society of America. Madison, WI., USA. p. 779-786.
- Schepers, J. S.; Francis, D. D.; Vigil, M. and Below, F. E. 1992. Comparasion of corn leaf nitrogen

- concentration and chlorophyll meter readings. *Common. Soil Sci. Plant Anal.* 23:2173-2187.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1989. *SAS/OR User's Guide. Versión 6.12.* Cary, NC., USA. 479 p.
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. 1986. *Principles and procedures of statistics.* McGraw-Hill Book New York, USA. 481 p.
- Tanaka, A. y Yamaguchi J. 1981. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y del grano de maíz. 2a Impresión. Colegio de Postgraduados. Centro de Botánica. Chapingo, México. 124 p.
- Tollenaar, M. 1991. Physiological basis of genetic improvement of maize hybrids in Ontario from 1959 to 1988. *Crop Sci.* 31:119-124.
- Varvel, G. E.; Schepers, J. S. and Francis, D. D. 1997. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. *Soil Sci. Am. J.* 61:1233-1239.
- Widdicombe, W. D. and Thelen, K. D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. *Agron. J.* 94:1020-1023.